

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

(19)日本国特許庁 (JP)

(12)公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-133297

(43)公開日 平成11年(1999)5月21日

(51)Int.Cl.⁶

G02B 13/00

13/18

識別記号

庁内整理番号

FI

G02B 13/00

13/18

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全24頁)

(21)出願番号 特願平9-301649

(22)出願日 平成9年(1997)11月4日

(71)出願人 000005201

富士写真フィルム株式会社

神奈川県南足柄市中沼210番地

(72)発明者 島田 克己

神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富

士写真フィルム株式会社内

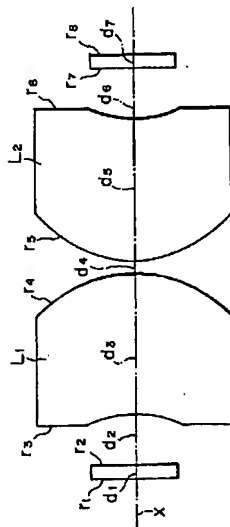
(74)代理人 弁理士 柳田 征史 (外1名)

(54)【発明の名称】 フーリエ変換レンズ

(57)【要約】

【課題】 フーリエ変換レンズを簡易に構成する。

【解決手段】 物体側から順にそれぞれ1枚または2枚のレンズL₁、～L_i、からなる第1群レンズおよび第2群レンズからレンズ系を構成する。第1群レンズおよび第2群レンズは同一のレンズ素子からなり、かつ光軸Xに垂直な面に関して対称に配置されてなる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 物体側から順にそれぞれ1枚または2枚のレンズからなる第1群レンズおよび第2群レンズが配列されてなるフーリエ変換レンズであって、

前記第1群レンズおよび前記第2群レンズは同一のレンズ素子からなり、かつ光軸に垂直な面に関して対称に配置されてなることを特徴とするフーリエ変換レンズ。

【請求項2】 全系の焦点距離を f 、前記各群レンズ間の主点間隔を t 、としたとき、下記の条件式(1)を満足するように構成されてなることを特徴とする請求項1記載のフーリエ変換レンズ。

$$(1) 1.5 \leq |t|/f \leq 2.7$$

【請求項3】 前記第1群レンズおよび前記第2群レンズは、それぞれ1枚の正のメニスカスレンズからなり、該正のメニスカスレンズにおける凹面の曲率半径を r_1 、凸面の曲率半径を r_2 、レンズ厚を d としたとき、下記の条件式(2)および(3)を満足するように構成されてなることを特徴とする請求項1または2記載のフーリエ変換レンズ。

$$(2) 1.0 < r_1/r_2 < 1.1$$

$$(3) 0.8 < d/f < 1.3$$

【請求項4】 前記第1群レンズおよび前記第2群レンズは、それぞれ負のメニスカスレンズおよび正レンズからなり、負のメニスカスレンズの焦点距離を f_1 、正レンズの焦点距離を f_2 、負のメニスカスレンズと正レンズとの主点間隔を t 、としたとき、下記の条件式(4)および(5)を満足するように構成されてなることを特徴とする請求項1または2記載のフーリエ変換レンズ。

$$(4) 1.1 < |f_1/f_2| < 1.9$$

$$(5) 0.6 \leq t/f \leq 1.8$$

【請求項5】 前記第1群レンズおよび前記第2群レンズを構成するレンズの少なくとも1つの面が非球面であることを特徴とする請求項1から4のいずれか1項記載のフーリエ変換レンズ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、フーリエ変換レンズに関するものである。

【0002】

【従来の技術】フーリエ変換レンズは、物体側の情報をフーリエ変換して結像するレンズとして知られている。すなわち、フーリエ変換レンズの物体側の焦点面に物体をおいてコヒーレントな光で照明すると、物体上の光強度分布フーリエ変換されて像側の焦点面状に結像する。そしてこのようなフーリエ変換レンズはフーリエ変換ホログラムの他、半導体製造装置のステッパ、レーザー共振器などに用いられている。

【0003】このようなフーリエ変換レンズとしては、例えば特公昭56-50247号公報に記載された8群8枚構成のレンズ、特公平3-62242号公報に記載

された6枚構成のレンズ、特開昭63-75719号公報に記載された5群構成のレンズ、特開平4-184310号公報に記載された5群5枚構成のレンズが知られている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述した特公昭56-50247号公報などに記載されたフーリエ変換レンズはレンズ枚数が多く、構成が複雑であった。

【0005】本発明は、上記事情に鑑みなされたものであり、簡易な構成のフーリエ変換レンズを提供することを目的とするものである。

【0006】

【課題を解決するための手段】本発明によるフーリエ変換レンズは、物体側から順にそれぞれ1枚または2枚のレンズからなる第1群レンズおよび第2群レンズが配列されてなるフーリエ変換レンズであって、前記第1群レンズおよび前記第2群レンズは同一のレンズ素子からなり、かつ光軸に垂直な面に関して対称に配置されてなることを特徴とするものである。

【0007】また、本発明によるフーリエ変換レンズにおいては、全系の焦点距離を f 、前記各群レンズ間の主点間隔を t 、としたとき、下記の条件式(1)を満足するように構成されてなることが好ましい。

$$(1) 1.5 \leq |t|/f \leq 2.7$$

さらに、本発明のフーリエ変換レンズを、前記第1群レンズおよび前記第2群レンズがそれぞれ1枚の正のメニスカスレンズからなる2群2枚構成とし、該正のメニスカスレンズにおける凹面の曲率半径を r_1 、凸面の曲率半径を r_2 、レンズ厚を d としたとき、下記の条件式

(2)および(3)を満足するように構成することが好ましい。

$$(2) 1.0 < r_1/r_2 < 1.1$$

$$(3) 0.8 < d/f < 1.3$$

また、本発明のフーリエ変換レンズを、前記第1群レンズおよび前記第2群レンズがそれぞれ負のメニスカスレンズおよび正レンズからなる2群4枚構成とし、負のメニスカスレンズの焦点距離を f_1 、正レンズの焦点距離を f_2 、負のメニスカスレンズと正レンズとの主点間隔を t 、としたとき、下記の条件式(4)および(5)を満足するように構成することが好ましい。

$$(4) 1.1 < |f_1/f_2| < 1.9$$

$$(5) 0.6 \leq t/f \leq 1.8$$

さらに、本発明のフーリエ変換レンズは、前記第1群レンズおよび前記第2群レンズを構成するレンズの少なくとも1つの面が非球面であることが好ましい。

【0011】

【発明の効果】本発明によるフーリエ変換レンズは、第1群レンズおよび第2群レンズをそれぞれ1枚または2枚の同一のレンズ素子からなるものとするともに、各

群レンズを光軸に垂直な平面に関して対称に構成したため、レンズの構成枚数を少なくすることができるとともに、構成するレンズの種類をも少なくすることができ。したがって、フーリエ変換レンズの構成を簡易なものとして行うことができるとともに、その製造も容易に行うことができ、これによりレンズのコストダウンを図ることができる。

【0012】また、本発明によるフーリエ変換レンズを構成するレンズの少なくとも1面を非球面とすることにより、収差の補正を容易に行うことができる。

【0013】次に、上記条件式(1)～(5)について説明する。

【0014】条件式(1)の上限値を越えると、各群レンズの間隔が狭くなり、構成上好ましくない。また、条件式(1)の下限値を越えると、各群レンズを構成するレンズ素子のパワーを強くしなければならなくなり、その結果誤差に対する感度が高くなって、耐誤差性が悪化する。

【0015】条件式(2)の上限値を越えると、横収差、非点収差、 $f \cdot \sin \theta$ 性が補正不足となる。条件式(2)の下限値を越えると、横収差、メリジオナル(タンジェンシャル)方向の非点収差、 $f \cdot \sin \theta$ 性が補正過剰となる。

【0016】条件式(3)の上限値を越えると、レンズが厚くなりすぎ製造適正が劣化する。条件式(3)の下限値を越えると、各群レンズを構成するレンズ素子のパワーを強くしなければならなくなり、その結果誤差に対する感度が高くなって、耐誤差性が悪化する。

【0017】条件式(4)の上限値を越えると、横収差、メリジオナル(タンジェンシャル)方向の非点収差が補正過剰になる。条件式(4)の下限値を越えると、球面収差が補正過剰になり、また負のメニスカスレンズおよび正のメニスカスレンズのパワーが強くなりすぎて製造適正が劣化する。

【0018】条件式(5)の上限値を越えると、 $f \cdot \sin \theta$ 性が補正不足になる。条件式(5)の下限値を越えると、 $f \cdot \sin \theta$ 性が補正過剰になる。

【0019】

【発明の実施の形態】以下図面を参照して本発明の実施形態について説明する。なお、以下2つの実施形態による6つの実施例について具体的に説明するが、各実施例に各々対応する図面の説明において同一の要素については同一の符号を付し、重複する説明については省略する。

【0020】—第1の実施形態—

図1から図3は本発明の第1の実施形態によるフーリエ変換レンズの構成を示す図である。なお、第1の実施形態において、図1から図3をそれぞれ実施例1から3とする。第1の実施形態によるフーリエ変換レンズは、図1から図3に示すように、物体側から、正の第1レンズ

L₁、および正の第2レンズL₂、がこの順に配列されてなる2群2枚構成であり、正の第1レンズL₁、および正の第2レンズL₂、が光軸Xに垂直な平面に関して対称となるように配列されている。第1レンズL₁、および第2レンズL₂、は同一構成の正のメニスカスレンズからなり、かつ下記各条件式を満足するように構成されている。

【0021】(1) $1.5 \leq |t_1|/f \leq 2.7$

(2) $1.0 < r_1/r_2 < 1.1$

(3) $0.8 < d/f < 1.3$

10 但し、 f : 全系の焦点距離

t_1 : 各群間の主点間隔

r_1 : レンズにおける凹面の曲率半径

r_2 : レンズにおける凸面の曲率半径

d : レンズ厚

次に、上記各条件式(1)～(3)の技術的意義について説明する。

【0022】条件式(1)の上限値を越えると、各群レンズの間隔が狭くなり、構成上好ましくない。また、条件式(1)の下限値を越えると、各群レンズを構成するレンズ素子のパワーを強くしなければならなくなり、その結果誤差に対する感度が高くなって、耐誤差性が悪化する。

【0023】条件式(2)の上限値を越えると、横収差、メリジオナル(タンジェンシャル)非点収差、 $f \cdot \sin \theta$ 性が補正不足となる。条件式(2)の下限値を越えると、横収差、非点収差、 $f \cdot \sin \theta$ 性が補正過剰となる。

【0024】条件式(3)の上限値を越えると、レンズが厚くなりすぎ製造適正が劣化する。条件式(3)の下限値を越えると、各群レンズを構成するレンズ素子のパワーを強くしなければならなくなり、その結果誤差に対する感度が高くなって、耐誤差性が悪化する。

【0025】また、実施例1～3において、各レンズの凹面および凸面は非球面となるように構成されている。これにより、収差の補正を容易に行うことができる。

【0026】以下、実施例1～3の各々について具体的な数値を用いて説明する。

【0027】<実施例1>実施例1における各レンズ面の曲率半径 r (mm)、各レンズの中心厚および各レンズ間の空気間隔 d (mm)、各レンズの屈折率を下記表1に示す。

【0028】但し、この表1および後述する表2、3において、各記号 r 、 d に対応させた数字は物体側から順次増加するようになっている。また、数字1は各表におけるSTOに対応している。

【0029】なお、表1の上段に、この実施例1のフーリエ変換レンズにおける、レンズ系全体の焦点距離 f 、群間の主点間隔 t_1 、前側(物体側)面曲率/後側面曲率 r_1/r_2 、およびレンズ厚 d の値を示す。また、各実施例1～3におけるレンズデータの波長は808nm、

面角 12° 、 f 数は2.4である。さらに、表1～表3
におけるA、B、Cは非球面係数であり、Aは4次の非
球面係数、Bは6次の非球面係数、Cは8次の非球面係
数である。 [0030]

[表1]

全系の焦点距離： $f=1$ ，群間の主点間隔： $t_g=2.6$
前側面曲率／後側面曲率： $r/r_1=1.03$ ，レンズ厚： $d=1.21$

面数	曲率半径	軸上面間隔	屈折率	備考
OBJ	INFINITY	INFINITY		
STO	INFINITY	0.121201	1.822755	
2	INFINITY	0.427502		
3	-1.08011	1.212011	1.722689	
	A:-317253E+00 B:-309915E+00 C:-559902E+01			
4	-1.04839	0.118238		
	A:0.124305E-01 B:0.918885E-02			
5	1.04839	1.212011	1.722689	
	A:-124305E-01 B:-918885E-02			
6	1.08011	0.427502		
	A:0.317253E+00 B:0.309915E+00 C:0.559902E+01			
7	INFINITY	0.121201	1.822755	
8	INFINITY	0.000000		
IMG	INFINITY			

【0031】表1から明らかなように、実施例1では各
条件式(1)～(3)が全て満足されており、各収差の
補正が充分になされている。

【0032】ここで、実施例1の球面収差、非点収差、
歪曲収差の収差図を図4に、 $f-\sin\theta$ 性を図5に、
横収差の収差図を図6に示す。なお、図4において、 $L0$
LONGITUDINAL SPHERICAL ABERR.が球面収差を、ASTIGMATIC
FIELD CURVESが非点収差を、DISTORTIONが歪曲収差を
示す。また、非球面収差図には、サジタル(S)像面
(実線)およびタンジェンシャル(T)像面(破線)に
対する収差が示されている。これら図4～図6から明ら
かなように、実施例1によれば、前述した各収差および

$f-\sin\theta$ 性を全て良好なものとしてすることができる。

【0033】<実施例2>実施例2における各レンズ面
の曲率半径 r (mm)、各レンズの中心厚および各レン
ズ間の空気間隔 d (mm)、各レンズの屈折率を下記表
2に示す。

【0034】なお、表2の上段に、この実施例2のフー
リエ変換レンズにおける、レンズ系全体の焦点距離 f 、
群間の主点間隔 t_g 、前側(物体側)面曲率/後側面曲
率 r_1/r 、およびレンズ厚 d の値を示す。

[0035]

[表2]

全系の焦点距離： $f=1$ ，群間の主点間隔： $t_g=2.4$
前側面曲率／後側面曲率： $r/r_1=1.09$ ，レンズ厚： $d=1.21$

面数	曲率半径	軸上面間隔	屈折率	備考
OBJ	INFINITY	INFINITY		
STO	INFINITY	0.121163	1.822755	
2	INFINITY	0.418382		
3	-1.16810	1.211633	1.722689	
	A:-278176E+00 B:-131352E+01			
4	-1.06780	0.097571		
	A:0.872714E-02			
5	1.06780	1.211633	1.722689	
	A:-872714E-02			
6	1.16810	0.418382		
	A:0.278176E+00 B:0.131352E+01			
7	INFINITY	0.121163	1.822755	
8	INFINITY	0.000000		
IMG	INFINITY			

【0036】表2から明らかなように、実施例2では各
条件式(1)～(3)が全て満足されており、各収差の
補正が充分になされている。

【0037】ここで、実施例2の球面収差、非点収差、
歪曲収差の収差図を図7に、 $f-\sin\theta$ 性を図8に、
横収差の収差図を図9に示す。なお、図7において、 $L0$
LONGITUDINAL SPHERICAL ABERR.が球面収差を、ASTIGMATIC
FIELD CURVESが非点収差を、DISTORTIONが歪曲収差を
示す。また、非球面収差図には、サジタル(S)像面
(実線)およびタンジェンシャル(T)像面(破線)に
対する収差が示されている。これら図7～図9から明ら

かなように、実施例2によれば、前述した各収差および
 $f-\sin\theta$ 性を全て良好なものとしてすることができる。

【0038】<実施例3>実施例3における各レンズ面
の曲率半径 r (mm)、各レンズの中心厚および各レン
ズ間の空気間隔 d (mm)、各レンズの屈折率を下記表
3に示す。

【0039】なお、表3の上段に、この実施例3のフー
リエ変換レンズにおける、レンズ系全体の焦点距離 f 、
群間の主点間隔 t_g 、前側(物体側)面曲率/後側面曲
率 r_1/r 、およびレンズ厚 d の値を示す。

[0040]

【表3】

全系の焦点距離: $f=1$, 群間の主点間隔: $t_i=-1.5$
 前面面曲率/後面面曲率: $r/r_1=1.03$, レンズ厚: $d=0.81$

面数	曲率半径	軸上面間隔	屈折率	備考
OBJ	INFINITY	INFINITY		
STO	INFINITY	0.121201	1.822755	
2	INFINITY	0.458508		
3	-0.89132	0.808007	1.783914	
	A:-.563857E+00	B:-.121842E+01	C:-.968251E+01	
4	-0.86567	0.546557		
	A:-.982279E-02	B:-.166744E-01	C:-.428612E-01	
5	0.86567	0.808007	1.783914	
	A:0.982279E-02	B:0.166744E-01	C:0.428612E-01	
6	0.89132	0.458508		
	A:0.563857E+00	B:0.121842E+01	C:0.968251E+01	
7	INFINITY	0.121201	1.822755	
8	INFINITY	0.000000		
IMG	INFINITY			

【0041】表3から明らかなように、実施例3では各条件式(1)～(3)が全て満足されており、各収差の補正が充分になされている。

【0042】ここで、実施例3の球面収差、非点収差、歪曲収差の収差図を図10に、 $f-\sin\theta$ 性を図11に、横収差の収差図を図12に示す。なお、図10において、LONGITUDINAL SPHERICAL ABER.が球面収差を、ASTIGMATIC FIELD CURVESが非点収差を、DISTORTIONが歪曲収差を示す。また、非球面収差図には、サジタル(S)像面(実線)およびタンジェンシャル(T)像面(破線)に対する収差が示されている。これら図10～図12から明らかなように、実施例3によれば、前述した各収差および $f-\sin\theta$ 性を全て良好なものとすることができる。

【0043】-第2の実施形態-図13から図15は本発明の第2の実施形態によるフーリエ変換レンズの構成を示す図である。なお、第2の実施形態において、図13から図15をそれぞれ実施例4から6とする。第2の実施形態によるフーリエ変換レンズは、図13から図15に示すように、物体側から、負の第1レンズ L_1 、正の第2レンズ L_2 、正の第3レンズ L_3 、および負の第4レンズ L_4 がこの順に配列されてなる2群4枚構成であり、負の第1レンズ L_1 、および正の第2レンズ L_2 、からなる第1群レンズと正の第3レンズ L_3 、および負の第4レンズ L_4 、からなる第2群レンズが光軸Xに垂直な平面に関して対称となるように配列されている。第1および第4のレンズ L_1 、 L_4 、第2および第3のレンズ L_2 、 L_3 はそれぞれ同一構成のレンズからなり、かつ下記各条件式を満足するように構成されている。

【0044】(1) $1.5 \leq |t|, |f| \leq 2.7$

(4) $1.1 < |f|, |f| < 1.9$

(5) $0.6 \leq t, |f| \leq 1.8$

但し、 f : 全系の焦点距離

t : 各群レンズ間の主点間隔

f : 負のメネスカスレンズの焦点距離

f : 正レンズの焦点距離

t : 負のメネスカスレンズと正レンズとの主点間隔

次に、上記各条件式(1)、(4)、(5)の技術的意義について説明する。

【0045】条件式(1)の上限値を越えると、各群レンズの間隔が狭くなり、構成上好ましくない。また、条件式(1)の下限値を越えると、各群レンズを構成するレンズ素子のパワーを強くしなければならなくなり、その結果誤差に対する感度が高くなって、耐誤差性が悪化する。

【0046】条件式(4)の上限値を超えると、横収差、メリジオナル方向の非点収差が補正過剰になる。条件式(4)の下限値を超えると、球面収差が補正過剰になり、また負のメネスカスレンズおよび正のメネスカスレンズのパワーが強くなりすぎて製造適正が劣化する。

【0047】条件式(5)の上限値を超えると、 $f-\sin\theta$ 性が補正不足になる。条件式(5)の下限値を超えると、 $f-\sin\theta$ 性が補正過剰になる。

【0048】また、実施例4～6において、第1レンズ L_1 、および第4レンズ L_4 、の凹面および凸面は非球面となるように構成されている。これにより、収差の補正を容易に行うことができる。

【0049】以下、実施例4～6の各々について具体的な数値を用いて説明する。

【0050】<実施例4>実施例4における各レンズ面の曲率半径 r (mm)、各レンズの中心厚および各レンズ間の空気間隔 d (mm)、各レンズの屈折率を下記表4に示す。

【0051】但し、この表4および後述する表5、6において、各記号 r 、 d に対応させた数字は物体側から順次増加するようになっている。また、数字1は各表におけるSTOに対応している。

【0052】なお、表4の上段に、この実施例4のフーリエ変換レンズにおける、レンズ系全体の焦点距離 f 、群間の主点間隔 t 、負素子(負のメネスカスレンズ)焦点距離/正素子焦点距離 f_1/f 、および主点間隔 t の値を示す。また、各実施例4～6におけるレンズデータの波長は808nm、面角 12° 、 f 数は2.4である。さらに、表4～表6におけるA、B、Cは非球面

係数であり、Aは4次の非球面係数、Bは6次の非球面係数、Cは8次の非球面係数である。

【0053】

【表4】

全系の焦点距離： $f=1$ ，群間の主点間隔： $t_g=1.8$
 負系子焦点距離／正系子焦点距離： $f_{-}/f_{+}=1.2$ ，レンズ系子間の主点間隔： $t_{-}=0.7$

面数	曲率半径	軸上面間隔	屈折率	備考
OBJ	INFINITY	INFINITY		
STO	INFINITY	0.121200	1.510160	
2	INFINITY	0.422145		
3	-0.68270	0.242400	1.510160	
A:0.323756E+00				
4	-2.66519	0.239733		
A:0.443703E+00				
5	7.99192	0.484801	1.822892	
6	-1.43319	0.092905		
7	1.43319	0.484801	1.822892	
8	-7.99192	0.239733		
9	2.66519	0.242400	1.510160	
A:-.443703E+00				
10	0.68270	0.422145		
A:-.323756E+00				
11	INFINITY	0.121200	1.510160	
12	INFINITY	0.000000		
IMG	INFINITY			

【0054】表4から明らかなように、実施例4では各条件式(1)、(4)および(5)が全て満足されており、各収差の補正が充分になされている。

【0055】ここで、実施例4の球面収差、非点収差、歪曲収差の収差図を図16に、 $f-\sin\theta$ 性を図17に、横収差の収差図を図18に示す。なお、図16において、LONGITUDINAL SPHERICAL ABER.が球面収差を、ASTIGMATIC FIELD CURVESが非点収差を、DISTORTIONが歪曲収差を示す。また、非球面収差図には、サジタル(S)像面(実線)およびタンジェンシャル(T)像面(破線)に対する収差が示されている。これら図16～図18から明らかなように、実施例4によれば、前述した各収差および $f-\sin\theta$ 性を全て良好なものとする

ことができる。

20 【0056】<実施例5>実施例5における各レンズ面の曲率半径 r (mm)、各レンズの中心厚および各レンズ間の空気間隔 d (mm)、各レンズの屈折率を下記表5に示す。

【0057】なお、表5の上段に、この実施例5のフーリエ変換レンズにおける、レンズ系全体の焦点距離 f 、群間の主点間隔 t 、負系子(負のメニスカスレンズ)焦点距離／正系子焦点距離 f_{-}/f_{+} 、および主点間隔 t の値を示す。

【0058】

【表5】

全系の焦点距離： $f=1$ ，群間の主点間隔： $t_g=2.0$
 負系子焦点距離／正系子焦点距離： $f_{-}/f_{+}=1.6$ ，レンズ系子間の主点間隔： $t_{-}=1.0$

面数	曲率半径	軸上面間隔	屈折率	備考
OBJ	INFINITY	INFINITY		
STO	INFINITY	0.121200	1.510160	
2	INFINITY	0.458689		
3	-0.56560	0.282800	1.510160	
A:0.266466E+00 B:0.686450E+00				
4	-1.03840	0.227758		
A:0.198485E+00 B:0.232851E+00				
5	-8.56926	0.404000	1.822892	
6	-1.34471	0.040400		
7	1.34471	0.404000	1.822892	
8	-8.56926	0.227758		
9	1.03840	0.282800	1.510160	
A:-.198485E+00 B:-.232851E+00				
10	0.56560	0.458689		
A:-.266466E+00 B:-.686450E+00				
11	INFINITY	0.121200	1.510160	
12	INFINITY	0.000000		
IMG	INFINITY			

【0059】表5から明らかなように、実施例5では各条件式(1)、(4)および(5)が全て満足されており、各収差の補正が充分になされている。

【0060】ここで、実施例5の球面収差、非点収差、歪曲収差の収差図を図19に、 $f-\sin\theta$ 性を図20

50 に、横収差の収差図を図21に示す。なお、図19において、LONGITUDINAL SPHERICAL ABER.が球面収差を、ASTIGMATIC FIELD CURVESが非点収差を、DISTORTIONが歪曲収差を示す。また、非球面収差図には、サジタル(S)像面(実線)およびタンジェンシャル(T)像面

(破線)に対する収差が示されている。これら図19～図21から明らかなように、実施例5によれば、前述した各収差および $f-sin\theta$ 性を全て良好なものとすることができる。

【0061】<実施例6>実施例6における各レンズ面の曲率半径 r (mm)、各レンズの中心厚および各レンズ間の空気間隔 d (mm)、各レンズの屈折率を下記表6に示す。

全系の焦点距離： $f=1$ 、群間の主点間隔： $t_g=1.8$
負素子焦点距離/正素子焦点距離： $f_d/f_p=-1.8$ 、レンズ素子間の主点間隔： $t_e=1.6$

面数	曲率半径	軸上面間隔	屈折率	備考
OBJ	INFINITY	INFINITY		
STO	INFINITY	0.121200	1.510160	
2	INFINITY	0.461447		
3	-0.52520	0.202001	1.710839	
4	A:-0.347783E+00	B:-0.165938E+01		
	-0.75837	0.361109		
5	A:-0.219765E+00	B:-0.553258E+00		
	-4.51590	0.323201	1.822892	
6	-1.27403	0.012652		
7	1.27403	0.323201	1.822892	
8	4.51590	0.361109		
9	0.75837	0.202001	1.710839	
10	A:-0.219765E+00	B:-0.553258E+00		
	0.52520	0.461447		
11	A:-0.347783E+00	B:-0.165938E+01		
	INFINITY	0.121200	1.510160	
12	INFINITY	0.000000		
IMG	INFINITY			

【0064】表6から明らかなように、実施例6では各条件式(1)、(4)および(5)が全て満足されており、各収差の補正が充分になされている。

【0065】ここで、実施例6の球面収差、非点収差、歪曲収差の収差図を図22に、 $f-sin\theta$ 性を図23に、横収差の収差図を図24に示す。なお、図22において、LONGITUDINAL SPHERICAL ABERR.が球面収差を、ASTIGMATIC FIELD CURVESが非点収差を、DISTORTIONが歪曲収差を示す。また、非球面収差図には、サジタル(S)像面(実線)およびタンジェンシャル(T)像面(破線)に対する収差が示されている。これら図22～図24から明らかなように、実施例6によれば、前述した各収差および $f-sin\theta$ 性を全て良好なものとすることができる。

【0066】なお、本発明のフーリエ変換レンズとしては上記実施例のものに限られるものではなく、種々の変更が可能であり、例えば各レンズの曲率半径 r およびレンズ間隔(もしくはレンズ厚) d を任意に変更することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施例1によるフーリエ変換レンズの構成を示す図

【図2】実施例2によるフーリエ変換レンズの構成を示す図

【図3】実施例3によるフーリエ変換レンズの構成を示す図

【図4】実施例1によるフーリエ変換レンズの収差図

【0062】なお、表6の上段に、この実施例6のフーリエ変換レンズにおける、レンズ系全体の焦点距離 f 、群間の主点間隔 t_g 、負素子(負のメネスカスレンズ)焦点距離/正素子焦点距離 f_d/f_p 、 f 、および主点間隔 t_e の値を示す。

【0063】

【表6】

(球面収差、非点収差、歪曲収差)

【図5】実施例1によるフーリエ変換レンズの $f-sin\theta$ 性を示す図

【図6】実施例1によるフーリエ変換レンズの横収差図
【図7】実施例2によるフーリエ変換レンズの収差図
(球面収差、非点収差、歪曲収差)

【図8】実施例2によるフーリエ変換レンズの $f-sin\theta$ 性を示す図

【図9】実施例2によるフーリエ変換レンズの横収差図
【図10】実施例3によるフーリエ変換レンズの収差図
(球面収差、非点収差、歪曲収差)

【図11】実施例3によるフーリエ変換レンズの $f-sin\theta$ 性を示す図

【図12】実施例3によるフーリエ変換レンズの横収差図

【図13】実施例4によるフーリエ変換レンズの構成を示す図

【図14】実施例5によるフーリエ変換レンズの構成を示す図

【図15】実施例6によるフーリエ変換レンズの構成を示す図

【図16】実施例4によるフーリエ変換レンズの収差図
(球面収差、非点収差、歪曲収差)

【図17】実施例4によるフーリエ変換レンズの $f-sin\theta$ 性を示す図

【図18】実施例4によるフーリエ変換レンズの横収差図

【図 19】実施例 5 によるフーリエ変換レンズの収差図
(球面収差、非点収差、歪曲収差)

【図 20】実施例 5 によるフーリエ変換レンズの $f-s$
 $\sin \theta$ 性を示す図

【図 21】実施例 5 によるフーリエ変換レンズの横収差
図

【図 22】実施例 6 によるフーリエ変換レンズの収差図
(球面収差、非点収差、歪曲収差)

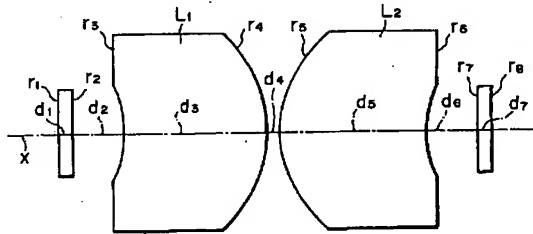
【図 23】実施例 6 によるフーリエ変換レンズの $f-s$
 $\sin \theta$ 性を示す図

【図 24】実施例 6 によるフーリエ変換レンズの横収差
図

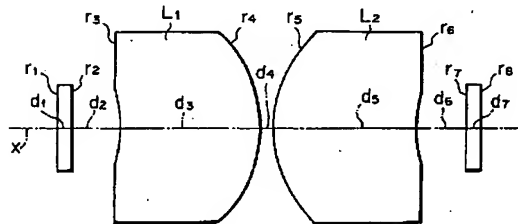
【符号の説明】

$r_1 \sim r_{11}$ 曲率半径
 $d_1 \sim d_{11}$ 軸上面間隔

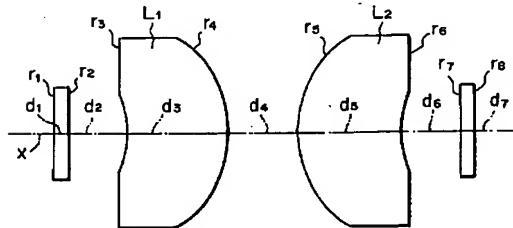
【図 1】



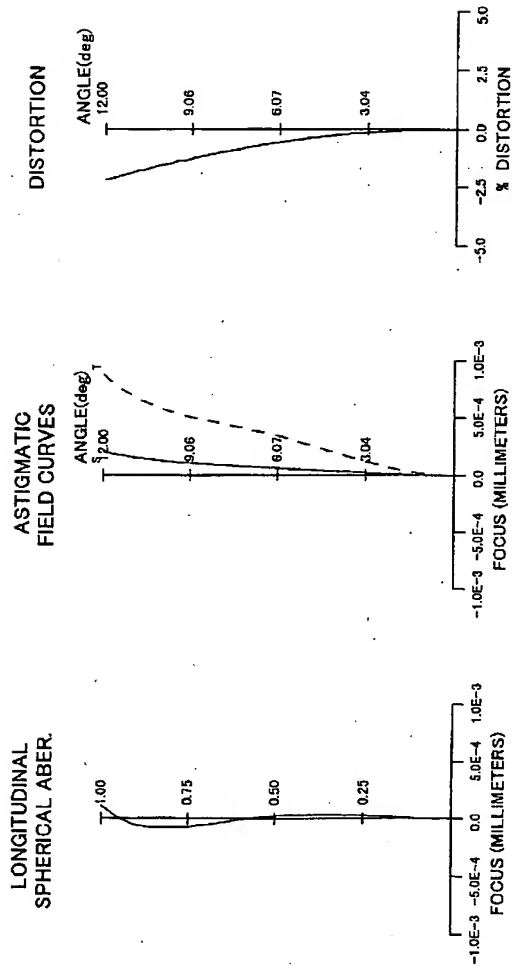
【図 2】



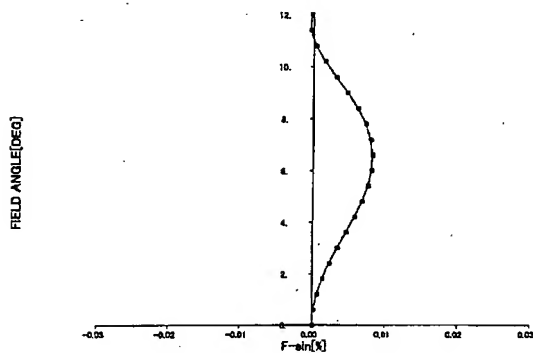
【図 3】



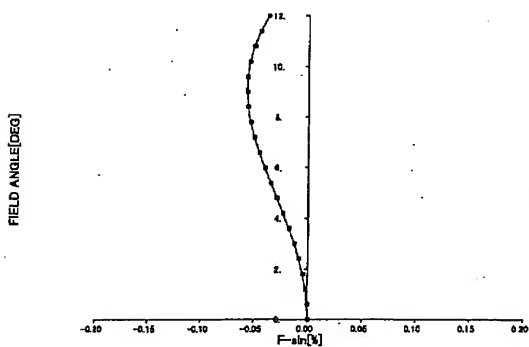
【図 4】



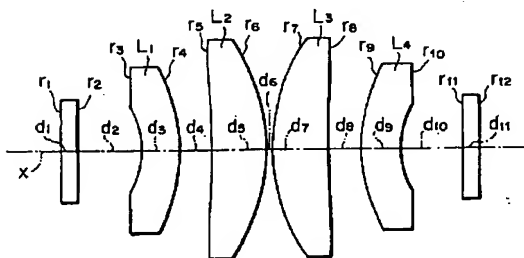
【図 5】



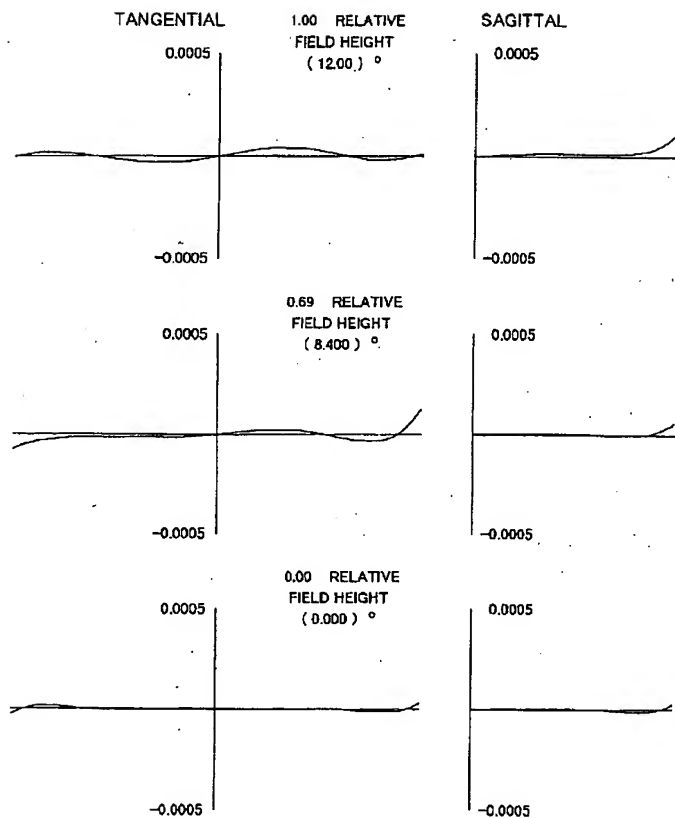
【図 8】



【図 13】

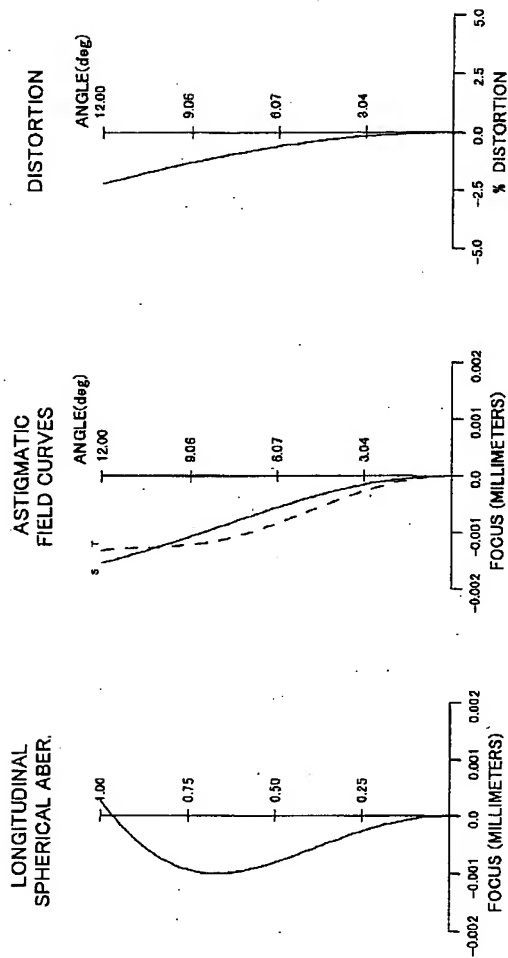


【図6】

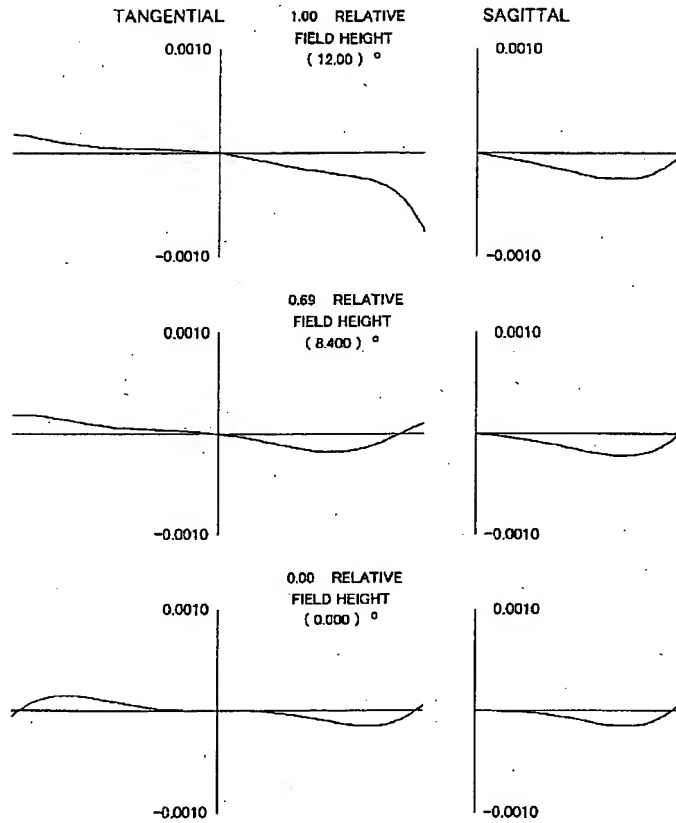


RAY ABERRATIONS (MILLIMETERS)

【図 7】

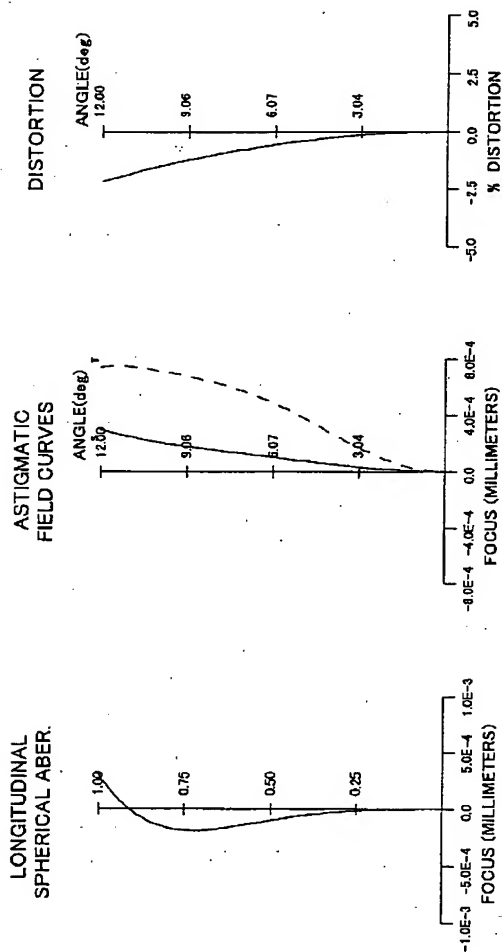


【図9】



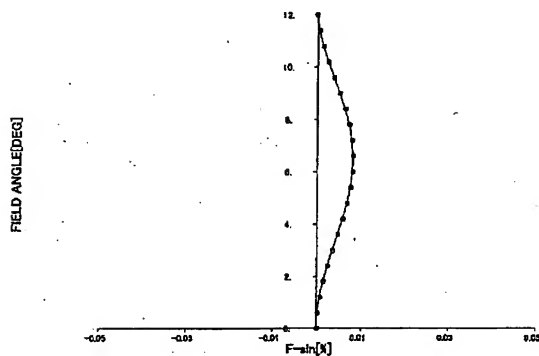
RAY ABERRATIONS (MILLIMETERS)

【図10】

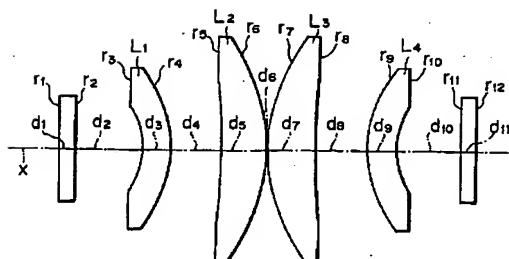


12-Sep-97

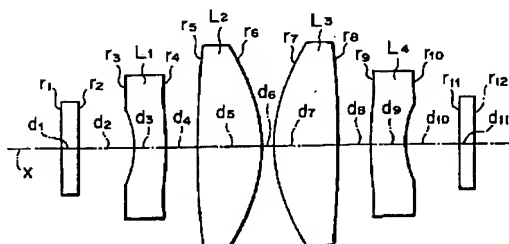
【図 11】



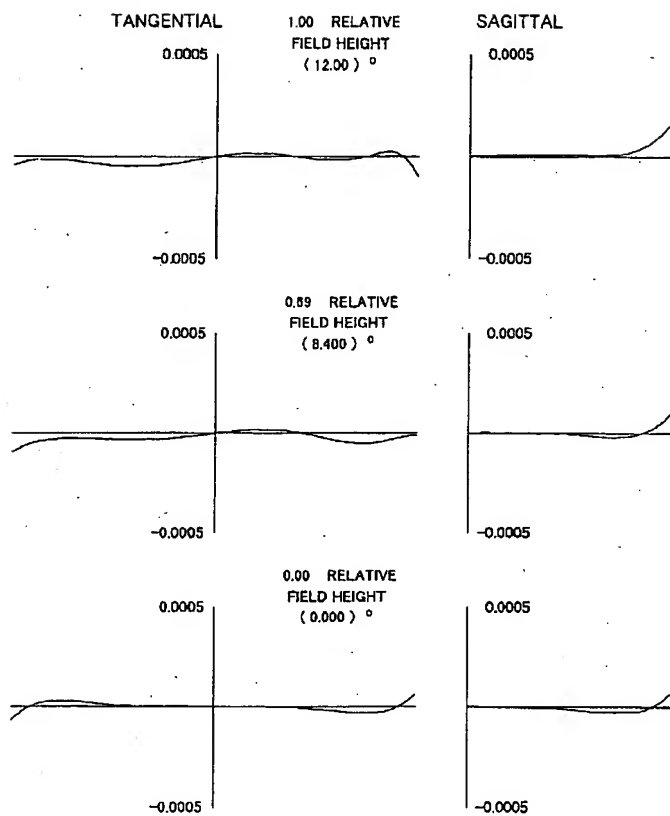
【図 14】



【図 15】

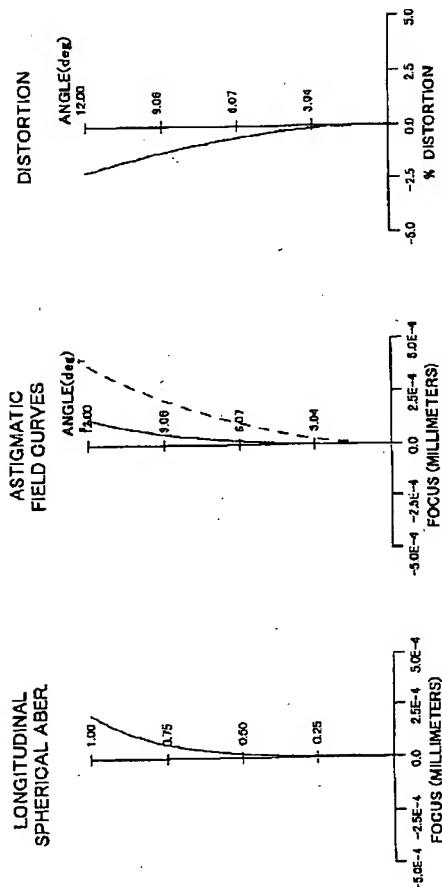


【図12】

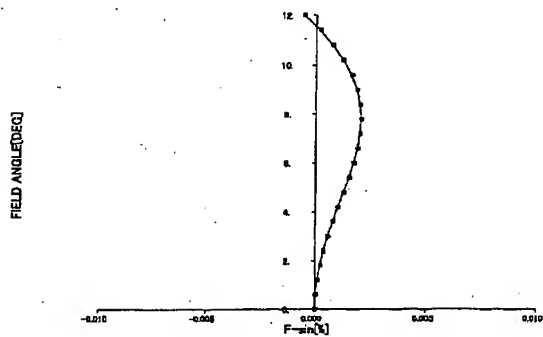


RAY ABERRATIONS (MILLIMETERS)

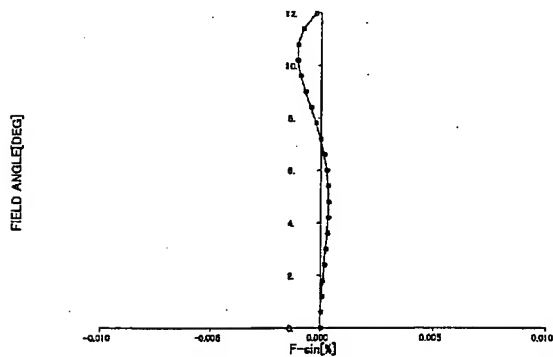
【図 16】



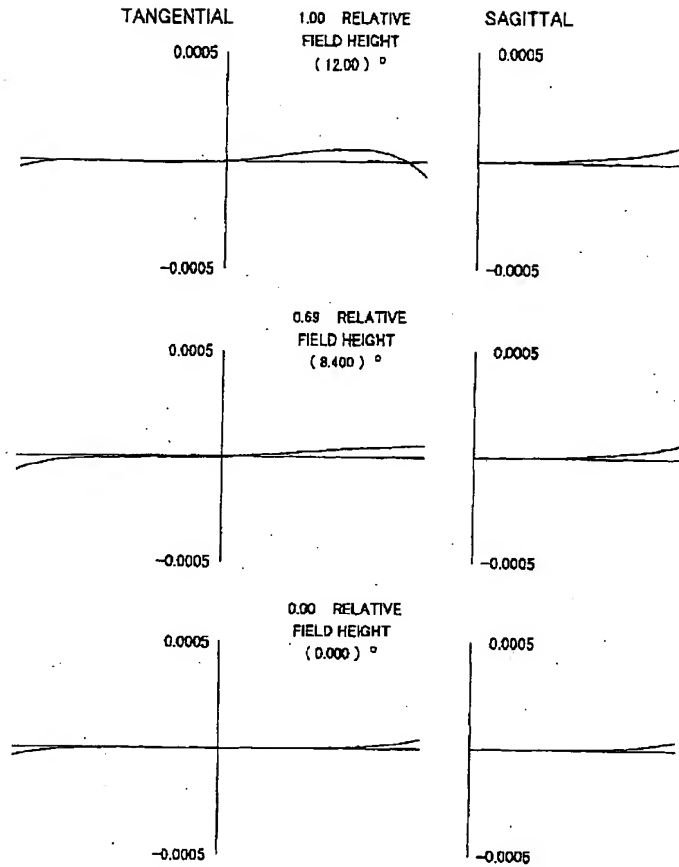
【図 17】



【図 20】

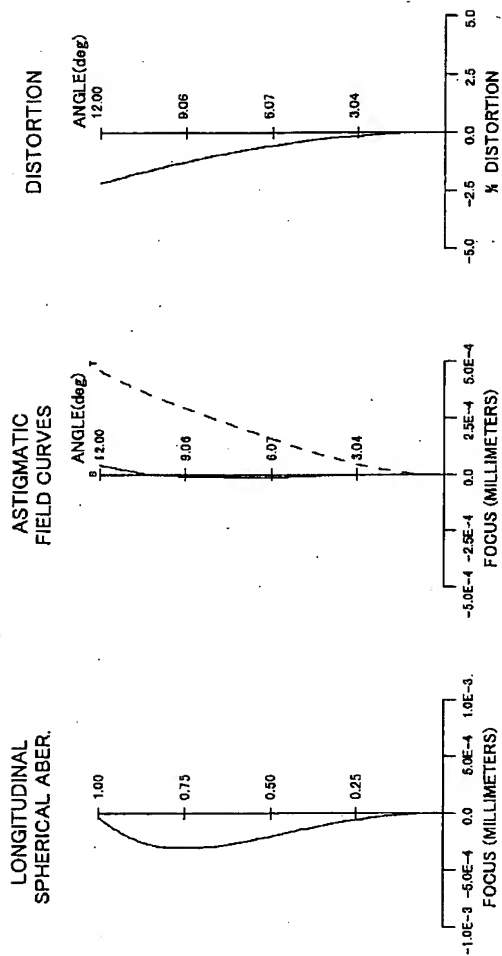


【図 18】

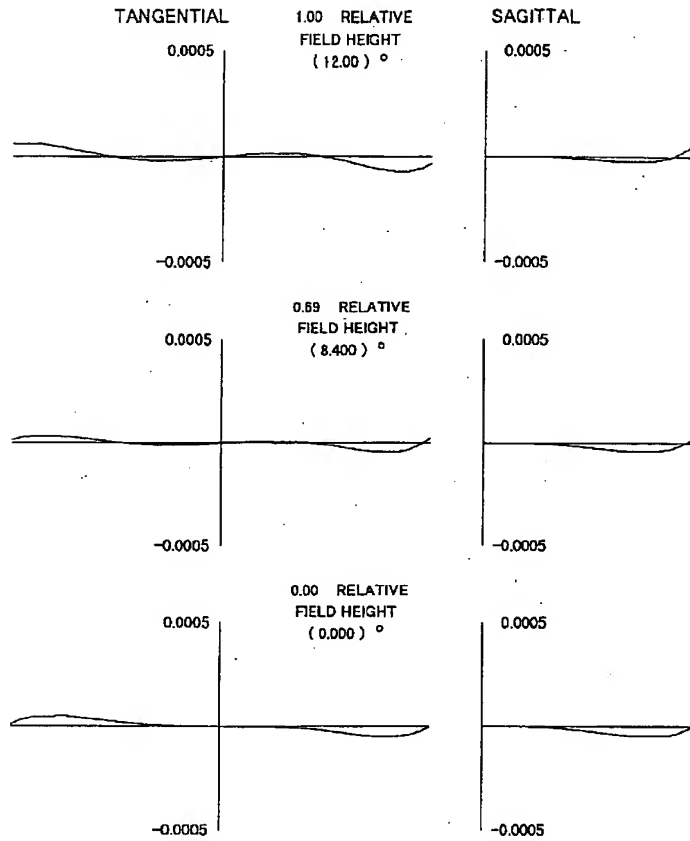


RAY ABERRATIONS (MILLIMETERS)

【図19】

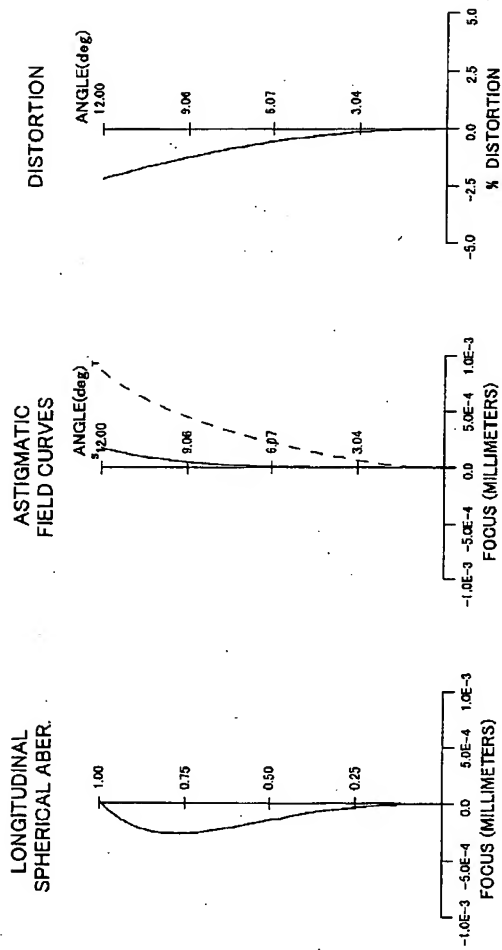


【図21】



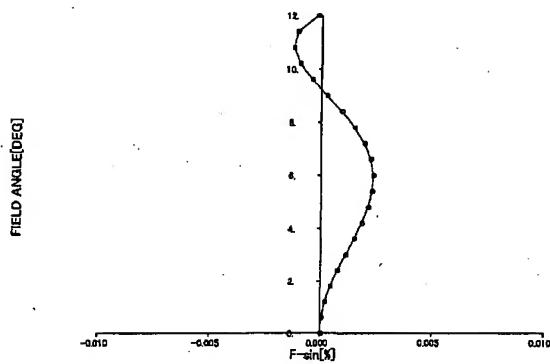
RAY ABERRATIONS (MILLIMETERS)

【図 22】

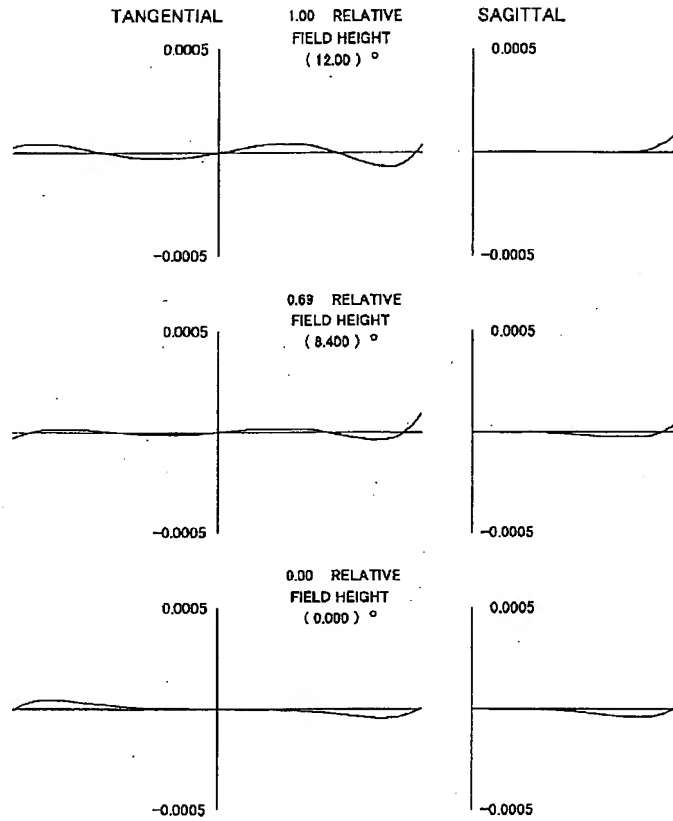


12-Sep-97

【図 23】



【図 24】



RAY ABERRATIONS (MILLIMETERS)

Date: December 18, 2003

Declaration

I, Mariko Uchida, a translator of Fukuyama Sangyo Honyaku Center, Ltd., of 16-3, 2-chome, Nogami-cho, Fukuyama, Japan, do solemnly and sincerely declare that I understand well both the Japanese and English languages and that the attached document in English is a full and faithful translation, of the copy of Japanese Unexamined Patent No. Hei-11-133297 laid open on May 21, 1999.



Mariko Uchida

Fukuyama Sangyo Honyaku Center, Ltd.

FOURIER TRANSFORM LENS

Japanese Unexamined Patent No. Hei-11-133297

Laid-open on: May 21, 1999

Application No. Hei-9-301649

Filed on: November 4, 1997

Inventor: Katsumi SHIMADA

Applicant: Fuji Photo Film Co., Ltd.

SPECIFICATION

[TITLE OF THE INVENTION]

Fourier transform lens

[Abstract]

[Object] To simply structure a Fourier transform lens.

[Achieving means] A lens system is comprised of a first group lens and a second group lens, each made up of one or two lenses L_1 - L_n in order from an object side. The first group lens and the second group lens are constructed of the same lens element and are arranged symmetrically with respect to a plane perpendicular to an optical axis X .

[WHAT IS CLAIMED IS;]

[Claim 1] A Fourier transform lens including a first group lens and a second group lens, each made up of one or two lenses in order from an object side, wherein the first group lens and

the second group lens are constructed of the same lens element and are arranged symmetrically with respect to a plane perpendicular to an optical axis.

[Claim 2] A Fourier transform lens as set forth in Claim 1, wherein the following conditional expression (1) is satisfied:

$$(1) \quad 1.5 \leq |t_e/f| \leq 2.7$$

where f is a focal length of an entire system, and t_e is a principal-point interval between the respective group lenses.

[Claim 3] A Fourier transform lens as set forth in Claim 1 or Claim 2, wherein the first group lens and the second group lens are each formed by a single positive meniscus lens, and the following conditional expressions (2) and (3) are satisfied:

$$(2) \quad 1.0 < r_t/r_b < 1.1$$

$$(3) \quad 0.8 < d/f < 1.3$$

where r_t is a curvature radius of a concave surface in the positive meniscus lens, r_b is a curvature radius of a convex surface, and d is a lens thickness.

[Claim 4] A Fourier transform lens as set forth in Claim 1 or Claim 2, wherein the first group lens and the second group lens are each made up of a negative meniscus lens and a positive lens, and the following conditional expressions (4) and (5) are satisfied:

$$(4) \quad 1.1 < |f_n/f_p| < 1.9$$

(5) $0.6 \leq t_e/f \leq 1.8$

where f_n is a focal length of the negative meniscus lens, f_p is a focal length of the positive lens, and t_e is a principal-point interval between the negative meniscus lens and the positive lens.

[Claim 5] A Fourier transform lens as set forth in any one of Claim 1 to Claim 4, wherein at least one surface of a lens that is a constituent element of the first and second group lenses is aspherical.

[DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION]

[0001]

[Field of the Invention] The present invention relates to a Fourier transform lens.

[0002]

[Prior arts] A Fourier transform lens is known as a lens by which information about an object side is subjected to a Fourier transform and is imaged. That is, when an object placed on a focal plane on the object side of a Fourier transform lens is illuminated with coherent light, it is subjected to a Fourier transform of a light intensity distribution on the object and is imaged on a focal plane on an image side. The Fourier transform lens functioning in this way is used in a stepper of semiconductor-fabrication equipment and a laser resonator

as well as in a Fourier transform hologram.

[0003] For example, an 8-group-and-8-lens-formed lens disclosed in Japanese Unexamined Patent Application Publication No. Sho-56-50247, a 6-lens-formed lens disclosed in Japanese Unexamined Patent Application Publication No. Hei-3-62242, a 5-group-formed lens disclosed in Japanese Unexamined Patent Application Publication No. Sho-63-75719, a 5-group-and-5-lens-formed lens disclosed in Japanese Unexamined Patent Application Publication No. Hei-4-184310 are known as the Fourier transform lens mentioned here.

[0004]

[Themes to be Solved by the Invention] However, the Fourier transform lens disclosed in Japanese Unexamined Patent Application Publication No. Sho-56-50247 and the other publications mentioned above has many lenses and a complicated structure.

[0005] The present invention has been made in consideration of the aforementioned circumstances, and aims to provide a Fourier transform lens having a simple structure.

[0006]

[Means for Solving Themes] The Fourier transform lens according to the present invention is characterized in that the Fourier transform lens includes a first group lens and a second group lens, each made up of one or two lenses in order from an object

side, and the first group lens and the second group lens are constructed of the same lens element and are arranged symmetrically with respect to a plane perpendicular to an optical axis.

[0007] Preferably, in the Fourier transform lens according to the present invention, the following conditional expression (1) is satisfied where f is a focal length of an entire system, and t_g is a principal-point interval between the respective group lenses.

$$[0008] \quad (1) \quad 1.5 \leq |t_g/f| \leq 2.7$$

Additionally, preferably, the Fourier transform lens according to the present invention is structured so that the first group lens and the second group lens are each formed by a single positive meniscus lens, and the following conditional expressions (2) and (3) are satisfied where r_i is a curvature radius of a concave surface in the positive meniscus lens, r_o is a curvature radius of a convex surface, and d is a lens thickness.

$$[0009] \quad (2) \quad 1.0 < r_i/r_o < 1.1$$

$$(3) \quad 0.8 < d/f < 1.3$$

Additionally, preferably, the Fourier transform lens according to the present invention is structured so that the first group lens and the second group lens are each made up

of a negative meniscus lens and a positive lens, and the following conditional expressions (4) and (5) are satisfied where f_n is a focal length of the negative meniscus lens, f_p is a focal length of the positive lens, and t_p is a principal-point interval between the negative meniscus lens and the positive lens.

[0010] (4) $1.1 < |f_n/f_p| < 1.9$

(5) $0.6 \leq t_p/f \leq 1.8$

Additionally, preferably, in the Fourier transform lens according to the present invention, at least one surface of a lens that is a constituent element of the first and second group lenses is aspherical.

[0011]

[Effects of the invention] The Fourier transform lens according to the present invention is structured so that the first group lens and the second group lens are each made up of one or two lens elements that are identical with each other, and each group lens is arranged symmetrically with respect to a plane perpendicular to the optical axis, and therefore the number of lenses forming the structure can be reduced, and the number of kinds of lenses forming the structure can also be reduced. Therefore, the structure of the Fourier transform lens can be made simple, and the lens can also be easily manufactured, and,

as a result, the cost of the lens can be reduced.

[0012] Additionally, since at least one surface of a lens that is a constituent element of the Fourier transform lens according to the present invention is aspherical, aberrations can be easily corrected.

[0013] Next, a description will be given of the aforementioned conditional expressions (1) to (5).

[0014] If an upper limit value of the conditional expression (1) is exceeded, an interval between the group lenses is shortened, which is undesirable from the point of view of the structure. If a lower limit value of the conditional expression (1) is exceeded, the power of the lens element that is a constituent element of each group lens must be strengthened, and, as a result, sensitivity to an error increases, and an anti-error capability deteriorates.

[0015] If an upper limit value of the conditional expression (2) is exceeded, lateral aberrations, astigmatisms, and $f\text{-}\sin\theta$ characteristics suffer from a correction deficiency. If a lower limit value of the conditional expression (2) is exceeded, lateral aberrations, astigmatisms in a meridional (tangential) direction, and $f\text{-}\sin\theta$ characteristics suffer from a correction excess.

[0016] If an upper limit value of the conditional expression

(3) is exceeded, the lens becomes too thick, and manufacturing appropriateness deteriorates. If a lower limit value of the conditional expression (3) is exceeded, the power of the lens element that is a constituent element of each group lens must be strengthened, and, as a result, sensitivity to an error increases, and anti-error capability deteriorates.

[0017] If an upper limit value of the conditional expression (4) is exceeded, lateral aberrations and astigmatisms in the meridional (tangential) direction suffer from a correction excess. If a lower limit value of the conditional expression (4) is exceeded, spherical aberrations suffer from a correction excess, and the power of the negative meniscus lens and the power of the positive meniscus lens become too strong, and manufacturing appropriateness deteriorates.

[0018] If an upper limit value of the conditional expression (5) is exceeded, $f\text{-}\sin\theta$ characteristics suffer from a correction deficiency. If a lower limit value of the conditional expression (5) is exceeded, $f\text{-}\sin\theta$ characteristics suffer from a correction excess.

[0019]

[Preferred Embodiment] A description will be hereinafter given of embodiments of the present invention with reference to the drawings. Although six examples according to two embodiments

will be hereinafter described concretely, the same sign is given to the same element in the description of the drawing that corresponds to each example, and the overlapping description is omitted.

[0020] -First Embodiment-

Fig. 1 to Fig. 3 are views showing the structure of a Fourier transform lens according to a first embodiment of the present invention. In the first embodiment, Fig. 1 to Fig. 3 show Example 1 to Example 3, respectively. As shown in Fig. 1 to Fig. 3, the Fourier transform lens according to the first embodiment has a 2-group-and-2-lens structure in which a positive first lens L_1 and a positive second lens L_2 are arranged in order from an object side, and the positive first lens L_1 and the positive second lens L_2 are arranged to be symmetrical with respect to a plane perpendicular to an optical axis X. The first lens L_1 and the second lens L_2 have positive meniscus lenses having the same structure and are structured to satisfy the following conditional expressions.

[0021]

(1) $1.5 \leq |t_o/f| \leq 2.7$,

(2) $1.0 < r_t/r_b < 1.1$,

(3) $0.8 < d/f < 1.3$

where f is a focal length of an entire system,

t_p is a principal-point interval between the groups,
 r_1 is a curvature radius of a concave surface in the lens,
 r_2 is a curvature radius of a convex surface in the lens, and
 d is a lens thickness.

Next, a description will be given of the technical meaning of the conditional expressions (1) to (3).

[0022] If an upper limit value of the conditional expression (1) is exceeded, an interval between the group lenses is shortened, which is undesirable from the point of view of the structure. If a lower limit value of the conditional expression (1) is exceeded, the power of the lens element that is a constituent element of each group lens must be strengthened, and, as a result, sensitivity to an error increases, and an anti-error capability deteriorates.

[0023] If an upper limit value of the conditional expression (2) is exceeded, lateral aberrations, meridional (tangential) astigmatisms, and $f \cdot \sin \theta$ characteristics suffer from a correction deficiency. If a lower limit value of the conditional expression (2) is exceeded, lateral aberrations, astigmatisms, and $f \cdot \sin \theta$ characteristics suffer from a correction excess.

[0024] If an upper limit value of the conditional expression (3) is exceeded, the lens becomes too thick, and manufacturing

appropriateness deteriorates. If a lower limit value of the conditional expression (3) is exceeded, the power of the lens element that is a constituent element of each group lens must be strengthened, and, as a result, sensitivity to an error increases, and anti-error capability deteriorates.

[0025] In Examples 1 to 3, the concave surface and the convex surface of each lens are constructed to be aspherical. Accordingly, aberrations can be easily corrected.

[0026] Examples 1 to 3 will be hereinafter described using concrete numerical values.

[0027] <Example 1> The curvature radius r (mm) of each lens surface in Example 1, the center thickness of each lens, the air interval d (mm) between the lenses, and the refractive index of each lens are shown in Table 1 below.

[0028] It is to be noted that, in Table 1 shown here and in Tables 2 and 3 described later, numerals that correspond to reference characters r and d are set to become large successively from an object side. Numeral 1 corresponds to STO in each table.

[0029] Values of the focal length f of the entire lens system, the principal-point interval t_p between the groups, the front (object side) surface curvature/back surface curvature r_f/r_b , and the lens thickness d in the Fourier transform lens in this

Example 1 are shown at the upper part of Table 1. Lens data in Examples 1 to 3 are 808nm in wavelength, 12° in field angle, and 2.4 in f-number. "A", "B", and "C" in Table 1 to Table 3 designate aspherical coefficients. "A" is a fourth-degree aspherical coefficient, "B" is a sixth-degree aspherical coefficient, and "C" is an eighth-degree aspherical coefficient.

[0030]

[Table 1]

Focal length of entire system: $f=1$

Principal-point interval between groups: $t_g=-2.6$

Front surface curvature/back surface curvature: $r_f/r_b=1.03$

Lens thickness: $d=1.21$

Number of surfaces	Curvature radius	On-axis surface-to-surface distance	Refractive index	Remarks
OBJ	INFINITY	INFINITY		
STO	INFINITY	0.121201	1.822755	
2	INFINITY	0.427502		
3	-1.08011	1.212011	1.722689	
	A: -.317253E+00 B: -.309915E+00 C: -.559902E+01			
4	-1.04839	0.118238		
	A: 0.124305E-01 B: 0.918885E-02			
5	1.04839	1.212011	1.722689	
	A: -.124305E-01 B: -.918885E-02			
6	1.08011	0.427502		
	A: 0.317253E+00 B: 0.309915E+00 C: 0.559902E+01			
7	INFINITY	0.121201	1.822755	
8	INFINITY	0.000000		
IMG	INFINITY			

[0031] As is apparent from Table 1, in Example 1, the conditional expressions (1) to (3) are all satisfied, and each aberration is sufficiently corrected.

[0032] An aberration diagram of the spherical aberration, astigmatism, and distortion aberration in Example 1 is shown in Fig. 4, the $f\text{-}\sin\theta$ characteristic is shown in Fig. 5, and an aberration diagram of the lateral aberration is shown in Fig. 6. In Fig. 4, "LONGITUDINAL SPHERICAL ABER" designates the spherical aberration, "ASTIGMATIC FIELD CURVES" designate

the astigmatism, and "DISTORTION" designates the distortion aberration. The aspherical aberration drawing shows an aberration with respect to a sagittal (S) image surface (solid line) and an aberration with respect to a tangential (T) image surface (broken line). As is apparent from Fig. 4 to Fig. 6 shown here, according to Example 1, the aforementioned aberrations and the $f \cdot \sin \theta$ characteristics can be all made preferable.

[0033] <Example 2> The curvature radius r (mm) of each lens surface in Example 2, the center thickness of each lens, the air interval d (mm) between the lenses, and the refractive index of each lens are shown in Table 2 below.

[0034] Values of the focal length f of the entire lens system, the principal-point interval t_p between the groups, the front (object side) surface curvature/back surface curvature r_f/r_b , and the lens thickness d in the Fourier transform lens in this Example 2 are shown at the upper part of Table 2.

[0035]

[Table 2]

Focal length of entire system: $f=1$,

Principal-point interval between groups: $t_p=-2.4$

Front surface curvature/back surface curvature: $r_f/r_b=1.09$

Lens thickness: $d=1.21$

Number of surfaces	Curvature radius	On-axis surface-to-surface distance	Refractive index	Remarks
OBJ	INFINITY	INFINITY		
STO	INFINITY	0.121163	1.822755	
2	INFINITY	0.418382		
3	-1.08011	1.211633	1.722689	
	A: -.278176E+00 B: -.131352E+01			
4	-1.06780	0.097571		
	A: 0.872714E-02			
5	1.06780	1.121163	1.722689	
	A: -.872714E-02			
6	1.16810	0.418382		
	A: 0.278176E+00 B: 0.131352E+01			
7	INFINITY	1.211633	1.822755	
8	INFINITY	0.000000		
IMG	INFINITY			

[0036] As is apparent from Table 2, in Example 2, the conditional expressions (1) to (3) are all satisfied, and each aberration is sufficiently corrected.

[0037] An aberration diagram of the spherical aberration, astigmatism, and distortion aberration in Example 2 is shown in Fig. 7, the $f\text{-}\sin\theta$ characteristic is shown in Fig. 8, and an aberration diagram of the lateral aberration is shown in Fig. 9. In Fig. 7, "LONGITUDINAL SPHERICAL ABER" designates the spherical aberration, "ASTIGMATIC FIELD CURVES" designates the astigmatism, and "DISTORTION" designates the

distortion aberration. The aspherical aberration drawing shows an aberration with respect to a sagittal (S) image surface (solid line) and an aberration with respect to a tangential (T) image surface (broken line). As is apparent from Fig. 7 to Fig. 9 shown here, according to Example 2, the aforementioned aberrations and the $f\text{-}\sin\theta$ characteristics can be all made excellent.

[0038] <Example 3> The curvature radius r (mm) of each lens surface in Example 3, the center thickness of each lens, the air interval d (mm) between the lenses, and the refractive index of each lens are shown in Table 3 below.

[0039] Values of the focal length f of the entire lens system, the principal-point interval t_p between the groups, the front (object side) surface curvature/back surface curvature r_t/r_b , and the lens thickness d in the Fourier transform lens in this Example 3 are shown at the upper part of Table 3.

[0040]

[Table 3]

Focal length of entire system: $f=1$

Principal-point interval between groups: $t_p=-1.5$

Front surface curvature/back surface curvature: $r_t/r_b=1.03$

Lens thickness: $d=0.81$

Number of surfaces	Curvature radius	On-axis surface-to-surface distance	Refractive index	Remarks
OBJ	INFINITY	INFINITY		
STO	INFINITY	0.121201	1.822755	
2	INFINITY	0.458508		
3	-0.89132	0.808007	1.783914	
	A: -.563857E+00 B: -.123842E+01 C: -.968251E+01			
4	-0.86567	0.546557		
	A: -.982279E-02 B: 0.166744E-01 C: 0.428612E-01			
5	0.86567	0.808007	1.783914	
	A: 0.982279E-02 B: 0.166744E-01 C: 0.428612E+01			
6	0.89132	0.458508		
	A: 0.563857E+00 B: 0.123842E+01 C: 0.968251E+01			
7	INFINITY	1.121201	1.822755	
8	INFINITY	0.000000		
IMG	INFINITY			

[0041] As is apparent from Table 3, in Example 3, the conditional expressions (1) to (3) are all satisfied, and each aberration is sufficiently corrected.

[0042] An aberration diagram of the spherical aberration, astigmatism, and distortion aberration in Example 3 is shown in Fig. 10, the $f\text{-}\sin\theta$ characteristic is shown in Fig. 11, and an aberration diagram of the lateral aberration is shown in Fig. 12. In Fig. 10, "LONGITUDINAL SPHERICAL ABER" designates the spherical aberration, "ASTIGMATIC FIELD CURVES" designates the astigmatism, and "DISTORTION" designates the

distortion aberration. The aspherical aberration drawing shows an aberration with respect to a sagittal (S) image surface (solid line) and an aberration with respect to a tangential (T) image surface (broken line). As is apparent from Fig. 10 to Fig. 12 shown here, according to Example 1, the aforementioned aberrations and the $f\text{-}\sin\theta$ characteristics can be all made excellent.

[0043] -Second Embodiment- Fig. 13 to Fig. 15 are views showing the structure of a Fourier transform lens according to a second embodiment of the present invention. In the second embodiment, Fig. 13 to Fig. 15 show Example 4 to Example 6, respectively. As shown in Fig. 13 to Fig. 15, the Fourier transform lens according to the second embodiment has a 2-group-and-4-lens structure in which a negative first lens L_1 , a positive second lens L_2 , a positive third lens L_3 , and a negative fourth lens L_4 are arranged in this order from an object side, and a first group lens consisting of the negative first lens L_1 and the positive second lens L_2 and a second group lens consisting of the positive third lens L_3 and the negative fourth lens L_4 are arranged to be symmetrical with respect to a plane perpendicular to an optical axis X. The first and fourth lenses L_1 and L_4 are identical in lens structure, and the second and third lenses L_2 and L_3 are identical in lens structure, and

they are structured so as to satisfy the following conditional expressions.

$$[0044] \quad (1) \quad 1.5 \leq |t_e/f| \leq 2.7$$

$$(4) \quad 1.1 < |f_n/f_p| < 1.9$$

$$(5) \quad 0.6 \leq t_e/f \leq 1.8$$

where f is a focal length of an entire system,

t_e is a principal-point interval between the groups,

f_n is a focal length of a negative meniscus lens,

f_p is a focal length of a positive lens, and

t_e is a principal-point interval between the negative meniscus lens and the positive lens.

Next, a description will be given of the technical meaning of the conditional expressions (1), (4), and (5).

[0045] If an upper limit value of the conditional expression (1) is exceeded, an interval between the group lenses is shortened, which is undesirable from the point of view of the structure. If a lower limit value of the conditional expression (1) is exceeded, the power of the lens element that is a constituent element of each group lens must be strengthened, and, as a result, sensitivity to an error increases, and an anti-error capability deteriorates.

[0046] If an upper limit value of the conditional expression (4) is exceeded, lateral aberrations and astigmatisms in a

meridional direction suffer from a correction excess. If a lower limit value of the conditional expression (4) is exceeded, spherical aberrations suffer from a correction excess, and the power of the negative meniscus lens and the power of the positive meniscus lens become too strong, and manufacturing appropriateness deteriorates.

[0047] If an upper limit value of the conditional expression (5) is exceeded, $f\text{-}\sin\theta$ characteristics suffer from a correction deficiency. If a lower limit value of the conditional expression (5) is exceeded, $f\text{-}\sin\theta$ characteristics suffer from a correction excess.

[0048] In Examples 4 to 6, the concave and convex surfaces of the first and fourth lenses L_1 , L_4 are constructed to be aspherical. Accordingly, aberrations can be easily corrected.

[0049] Examples 4 to 6 will be hereinafter described using concrete numerical values.

[0050] <Example 4> The curvature radius r (mm) of each lens surface in Example 4, the center thickness of each lens, the air interval d (mm) between the lenses, and the refractive index of each lens are shown in Table 4 below.

[0051] It is to be noted that, in Table 4 shown here and in Tables 5 and 6 described later, numbers that correspond to

reference characters r and d are set to become large successively from the object side. Numeral 1 corresponds to STO in each table.

[0052] Values of the focal length f of the entire lens system, the principal-point interval t_g between the groups, the negative element (negative meniscus lens) focal length/positive element focal length f_n/f_p , and the principal-point interval t_l in the Fourier transform lens in this Example 4 are shown at the upper part of Table 4. Lens data in Examples 4 to 6 are 808nm in wavelength, 12° in field angle, and 2.4 in f-number. "A", "B", and "C" in Table 4 to Table 6 designate aspherical coefficients. "A" is a fourth-degree aspherical coefficient, "B" is a sixth-degree aspherical coefficient, and "C" is an eighth-degree aspherical coefficient.

[0053]

[Table 4]

Focal length of entire system: $f=1$

Principal-point interval between groups: $t_g=-1.8$

Negative element (negative meniscus lens) focal length/positive element focal length $f_n/f_p=-1.2$

Principal-point interval between lens elements $t_l=0.7$

Number of surfaces	Curvature radius	On-axis surface-to-surface distance	Refractive index	Remarks
OBJ	INFINITY	INFINITY		
STO	INFINITY	0.121200	1.510160	
2	INFINITY	0.422145		
3	-0.68270	0.242400	1.510160	
	A: 0.323756E+00			
4	-2.66519	0.239733		
	A: 0.443703E-00			
5	7.99192	0.484801	1.822892	
6	-1.43319	0.092905		
7	1.43319	0.484801	1.822892	
	-7.99192	0.239733		
9	2.66519	0.242400	1.510160	
	A: -.443703E+00			
10	0.68270	0.422145		
	A: -.323756E+00			
11	INFINITY	1.121200	1.510160	
12	INFINITY	0.000000		
IMG	INFINITY			

[0054] As is apparent from Table 4, in Example 4, the conditional expressions (1), (4), and (5) are all satisfied, and each aberration is sufficiently corrected.

[0055] An aberration diagram of the spherical aberration, astigmatism, and distortion aberration in Example 4 is shown in Fig. 16, the $f\text{-}\sin\theta$ characteristic is shown in Fig. 17, and an aberration diagram of the lateral aberration is shown in

Fig. 18. In Fig. 16, "LONGITUDINAL SPHERICAL ABER" designates the spherical aberration, "ASTIGMATIC FIELD CURVES" designates the astigmatism, and "DISTORTION" designates the distortion aberration. The aspherical aberration drawing shows an aberration with respect to a sagittal (S) image surface (solid line) and an aberration with respect to a tangential (T) image surface (broken line). As is apparent from Fig. 16 to Fig. 18 shown here, according to Example 4, the aforementioned aberrations and the $f\text{-}\sin\theta$ characteristics can be all made excellent.

[0056] <Example 5> The curvature radius r (mm) of each lens surface in Example 5, the center thickness of each lens, the air interval d (mm) between the lenses, and the refractive index of each lens are shown in Table 5 below.

[0057] Values of the focal length f of the entire lens system, the principal-point interval t , between the groups, the negative element (negative meniscus lens) focal length/positive element focal length f_-/f_+ , and the principal-point interval t , in the Fourier transform lens in this Example 5 are shown in the upper part of Table 5.

[0058]

[Table 5]

Focal length of entire system: $f=1$

Principal-point interval between groups: $t_g = -2.0$

Negative element (negative meniscus lens) focal length/positive element focal length $f_n/f_p = -1.6$

Principal-point interval between lens elements $t_e = 1.0$

Number of surfaces	Curvature radius	On-axis surface-to-surface distance	Refractive index	Remarks
OBJ	INFINITY	INFINITY		
STO	INFINITY	0.121200	1.510160	
2	INFINITY	0.458689		
3	-0.56560	0.282800	1.510160	
A: 0.266466E+00 B: 0.686450E+00				
4	-1.03840	0.227758		
A: 0.198485E-00 B: 0.232851E+00				
5	8.56926	0.404000	1.822892	
6	-1.34471	0.040400		
7	1.34471	0.040400	1.822892	
	8.56926	0.227758		
9	1.03840	0.282800	1.510160	
A: -.198485E+00 B: -.232851E+00				
10	0.56560	0.458689		
A: -.266466E+00 B: -.686450E+00				
11	INFINITY	1.121200	1.510160	
12	INFINITY	0.000000		
IMG	INFINITY			

[0059]. As is apparent from Table 5, in Example 5, the conditional expressions (1), (4) and (5) are all satisfied, and each aberration is sufficiently corrected.

[0060] An aberration diagram of the spherical aberration, astigmatism, and distortion aberration in Example 5 is shown in Fig. 19, the $f\text{-sin}\theta$ characteristic is shown in Fig. 20, and an aberration diagram of the lateral aberration is shown in Fig. 21. In Fig. 19, "LONGITUDINAL SPHERICAL ABER" designates the spherical aberration, "ASTIGMATIC FIELD CURVES" designates the astigmatism, and "DISTORTION" designates the distortion aberration. The aspherical aberration drawing shows an aberration with respect to a sagittal (S) image surface (solid line) and an aberration with respect to a tangential (T) image surface (broken line). As is apparent from Fig. 19 to Fig. 21 shown here, according to Example 5, the aforementioned aberrations and the $f\text{-sin}\theta$ characteristics can be all made excellent.

[0061] <Example 6> The curvature radius r (mm) of each lens surface in Example 6, the center thickness of each lens, the air interval d (mm) between the lenses, and the refractive index of each lens are shown in Table 6 below.

[0062] Values of the focal length f of the entire lens system, the principal-point interval t , between the groups, the front (object side) surface curvature/back surface curvature r_f/r_b , and the lens thickness d in the Fourier transform lens in this Example 6 are shown at the upper part of Table 6.

[0063]

[Table 6]

Focal length of entire system: $f=1$

Principal-point interval between groups: $t_g=-1.8$

Negative element (negative meniscus lens) focal length/positive element focal length $f_n/f_p=-1.8$

Principal-point interval between lens elements (the negative meniscus lens and the positive lens) $t_s=1.6$

Number of surfaces	Curvature radius	On-axis surface-to-surface distance	Refractive index	Remarks
OBJ	INFINITY	INFINITY		
STO	INFINITY	0.121200	1.510160	
2	INFINITY	0.461447		
3	-0.52520	0.202001	1.710839	
	A: 0.347783E+00 B: 0.165938E+01			
4	-0.75837	0.361109		
	A: 0.219765E-00 B: 0.553258E+00			
5	4.51590	0.323201	1.822892	
6	-1.27403	0.012652		
7	1.27403	0.323201	1.822892	
	4.51590	0.361109		
9	0.75837	0.202001	1.710839	
	A: -.219765E+00 B: -.553258E+00			
10	0.52520	0.461447		
	A: -.347783E+00 B: -.165938E+01			
11	INFINITY	1.121200	1.510160	
12	INFINITY	0.000000		
IMG	INFINITY			

[0064] As is apparent from Table 6, in Example 6, the conditional expressions (1), (4), and (5) are all satisfied, and each aberration is sufficiently corrected.

[0065] An aberration diagram of the spherical aberration, astigmatism, and distortion aberration in Example 6 is shown in Fig. 22, the $f\text{-}\sin\theta$ characteristic is shown in Fig. 23, and an aberration diagram of the lateral aberration is shown in Fig. 24. In Fig. 22, "LONGITUDINAL SPHERICAL ABER" designates the spherical aberration, "ASTIGMATIC FIELD CURVES" designates the astigmatism, and "DISTORTION" designates the distortion aberration. The aspherical aberration drawing shows an aberration with respect to a sagittal (S) image surface (solid line) and an aberration with respect to a tangential (T) image surface (broken line). As is apparent from Fig. 22 to Fig. 24 shown here, according to Example 6, the aforementioned aberrations and the $f\text{-}\sin\theta$ characteristics can be all made excellent.

[0066] Without being limited to the aforementioned examples, the Fourier transform lens of the present invention can have various modifications. For example, the curvature radius r of each lens and the lens interval (or lens thickness) d can be arbitrarily changed.

[BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS]

[Fig. 1] View that shows the structure of the Fourier transform lens according to Example 1

[Fig. 2] View that shows the structure of the Fourier transform lens according to Example 2

[Fig. 3] View that shows the structure of the Fourier transform lens according to Example 3

[Fig. 4] Aberration diagram (spherical aberration, astigmatism, and distortion aberration) of the Fourier transform lens according to Example 1

[Fig. 5] View that shows the $f\text{-}\sin\theta$ characteristic of the Fourier transform lens according to Example 1

[Fig. 6] Lateral aberration diagram of the Fourier transform lens according to Example 1

[Fig. 7] Aberration diagram (spherical aberration, astigmatism, and distortion aberration) of the Fourier transform lens according to Example 2

[Fig. 8] View that shows the $f\text{-}\sin\theta$ characteristic of the Fourier transform lens according to Example 2

[Fig. 9] Lateral aberration diagram of the Fourier transform lens according to Example 2

[Fig. 10] Aberration diagram (spherical aberration, astigmatism, and distortion aberration) of the Fourier transform lens according to Example 3

[Fig. 11] View that shows the $f\text{-}\sin\theta$ characteristic of the Fourier transform lens according to Example 3

[Fig. 12] Lateral aberration diagram of the Fourier transform lens according to Example 3

[Fig. 13] View that shows the structure of the Fourier transform lens according to Example 4

[Fig. 14] View that shows the structure of the Fourier transform lens according to Example 5

[Fig. 15] View that shows the structure of the Fourier transform lens according to Example 6

[Fig. 16] Aberration diagram (spherical aberration, astigmatism, and distortion aberration) of the Fourier transform lens according to Example 4

[Fig. 17] View that shows the $f\text{-}\sin\theta$ characteristic of the Fourier transform lens according to Example 4

[Fig. 18] Lateral aberration diagram of the Fourier transform lens according to Example 4

[Fig. 19] Aberration diagram (spherical aberration, astigmatism, and distortion aberration) of the Fourier transform lens according to Example 5

[Fig. 20] View that shows the $f\text{-}\sin\theta$ characteristic of the Fourier transform lens according to Example 5

[Fig. 21] Lateral aberration diagram of the Fourier transform

lens according to Example 5

[Fig. 22] Aberration diagram (spherical aberration, astigmatism, and distortion aberration) of the Fourier transform lens according to Example 6

[Fig. 23] View that shows the $f\text{-}\sin\theta$ characteristic of the Fourier transform lens according to Example 6

[Fig. 24] Lateral aberration diagram of the Fourier transform lens according to Example 6

[Description of Symbols]

$r_1 \sim r_{12}$ Curvature radius

$d_1 \sim d_{11}$ On-axis surface-to-surface distance

Fig.1

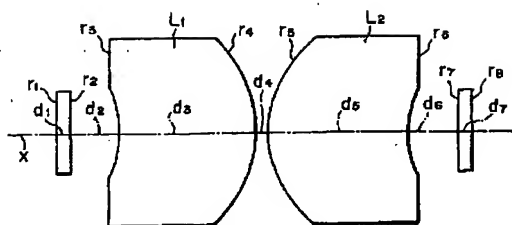


Fig.2

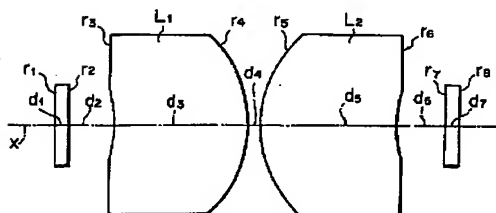


Fig.3

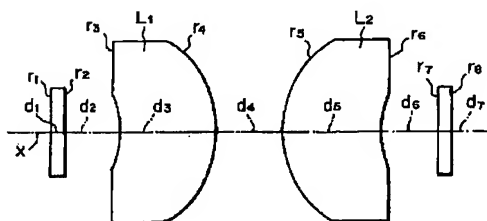


Fig.4

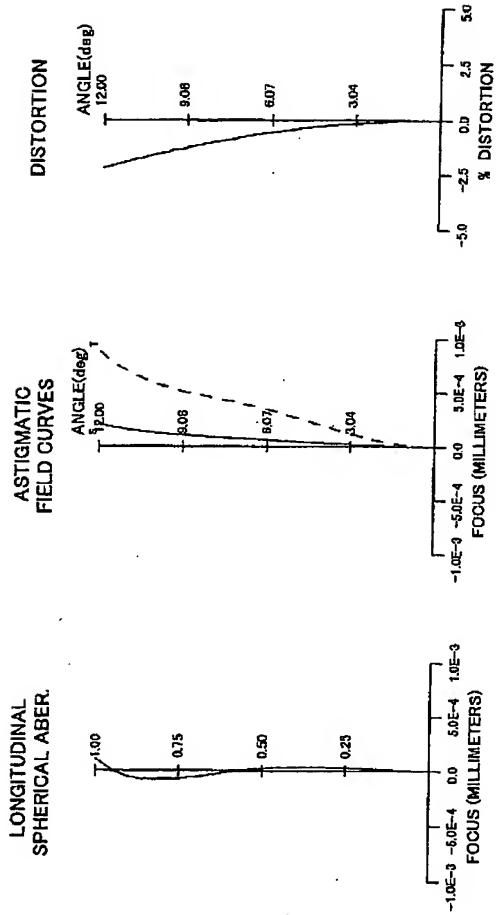


Fig.5

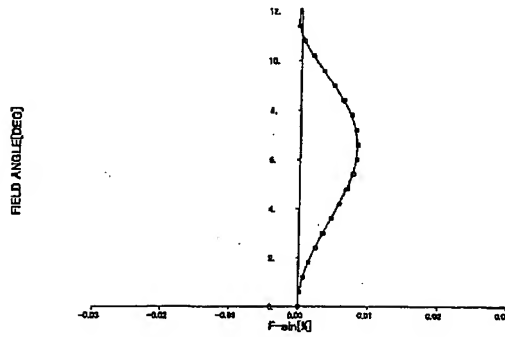


Fig.8

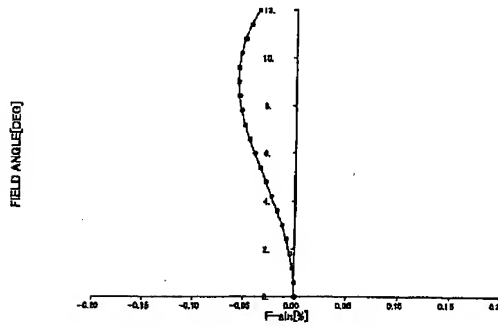


Fig.13

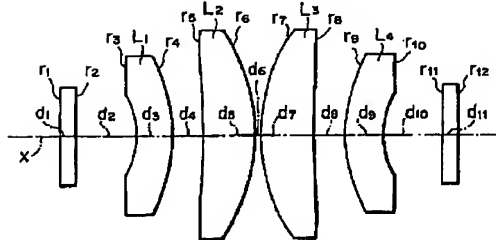
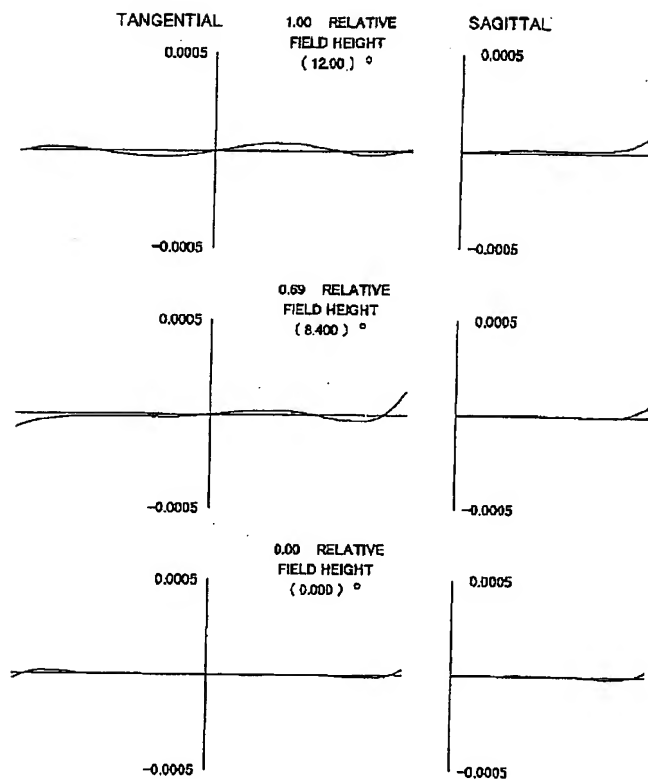


Fig.6



RAY ABERRATIONS (MILLIMETERS)

Fig.7

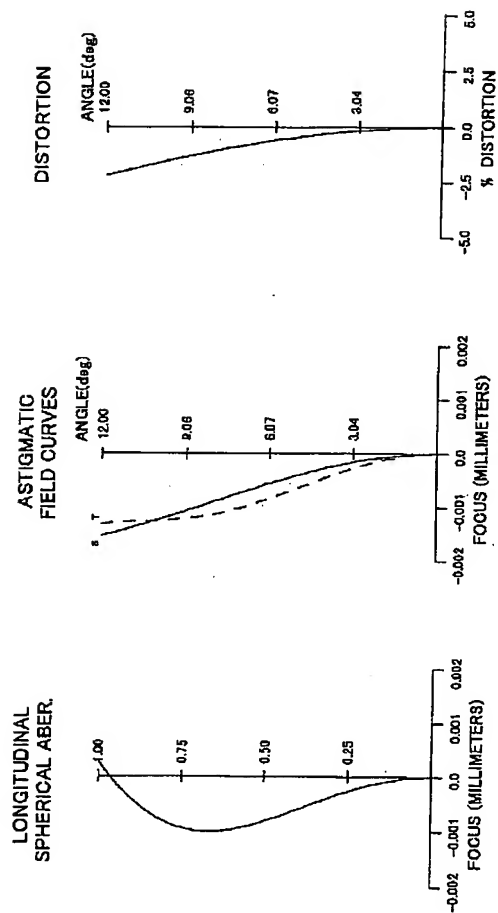
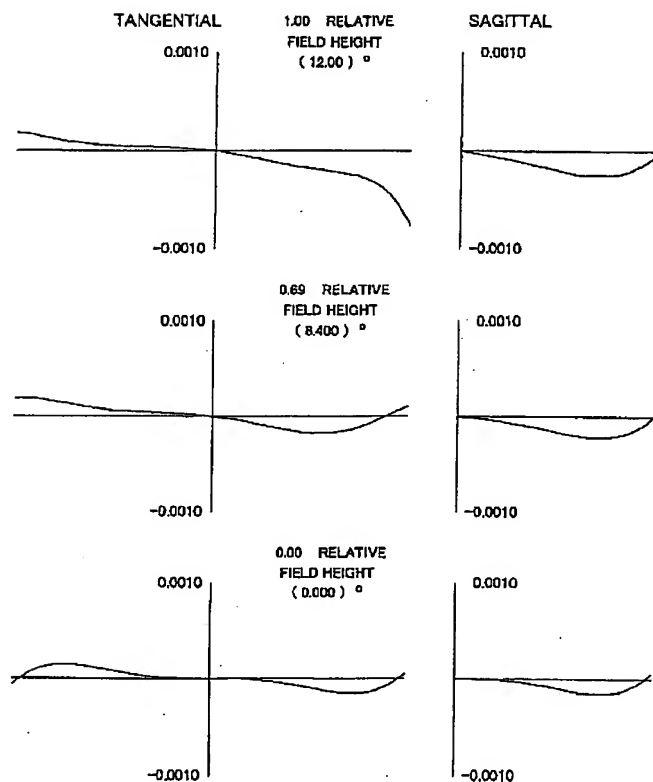
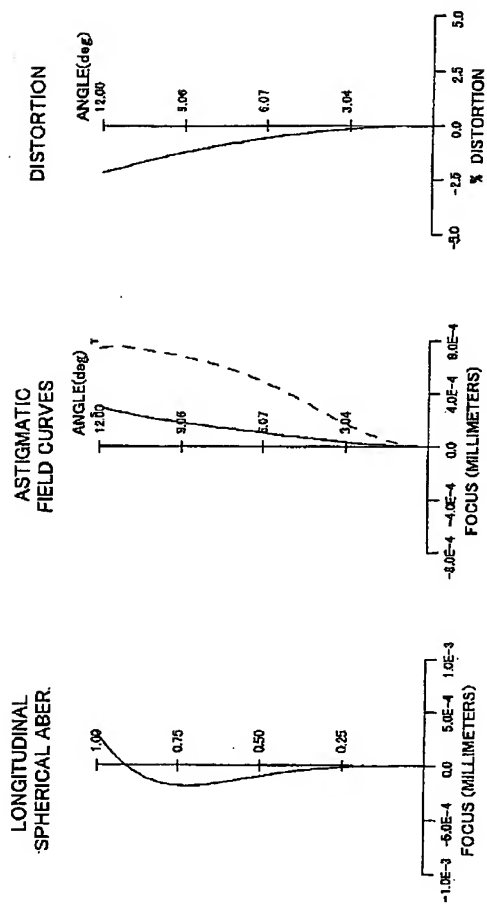


Fig.9



RAY ABERRATIONS (MILLIMETERS)

Fig.10



12-Sep-97

Fig.11

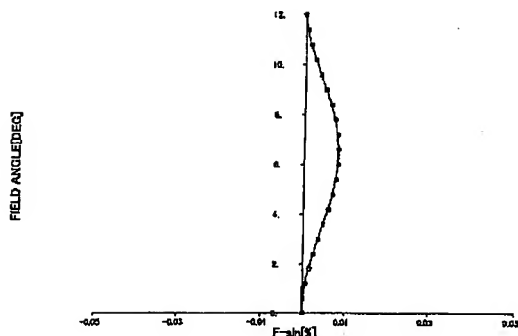


Fig.14

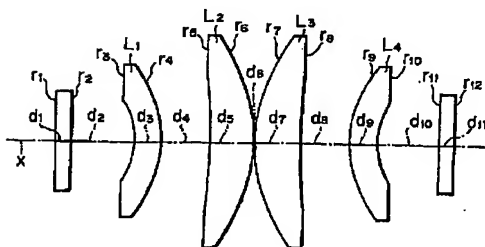


Fig.15

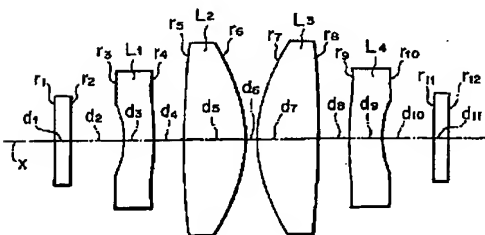
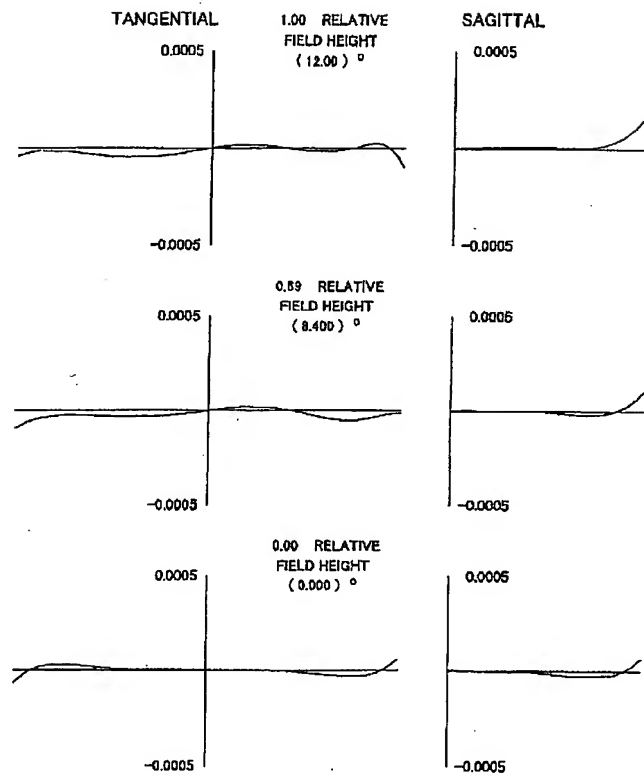


Fig.12



RAY ABERRATIONS (MILLIMETERS)

Fig.16

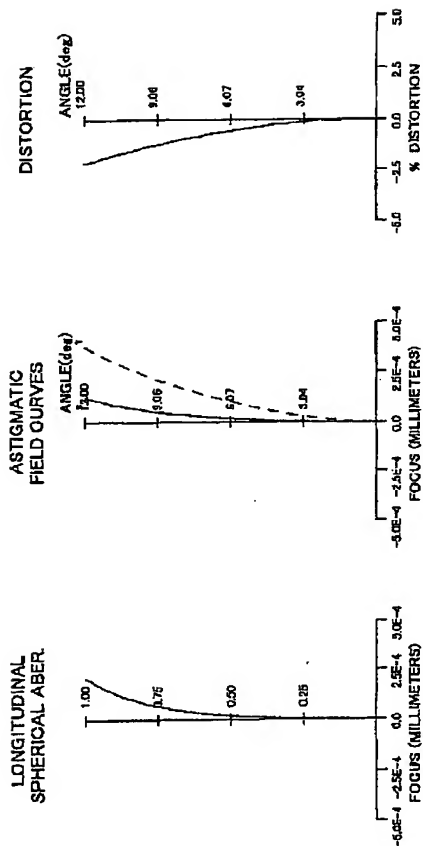


Fig.17

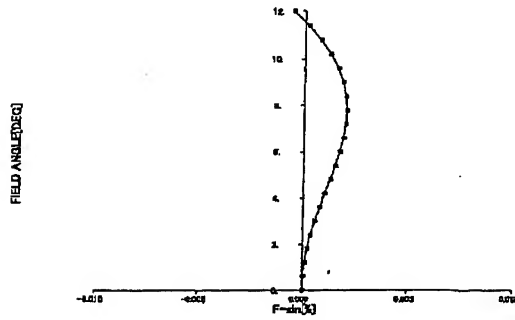


Fig.20

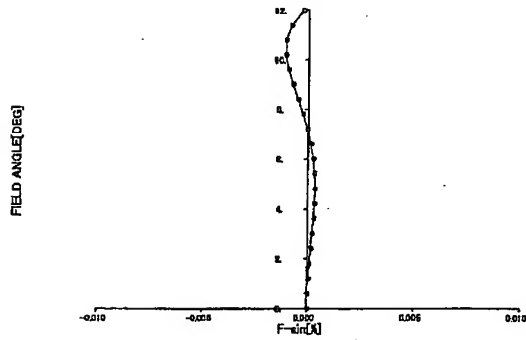
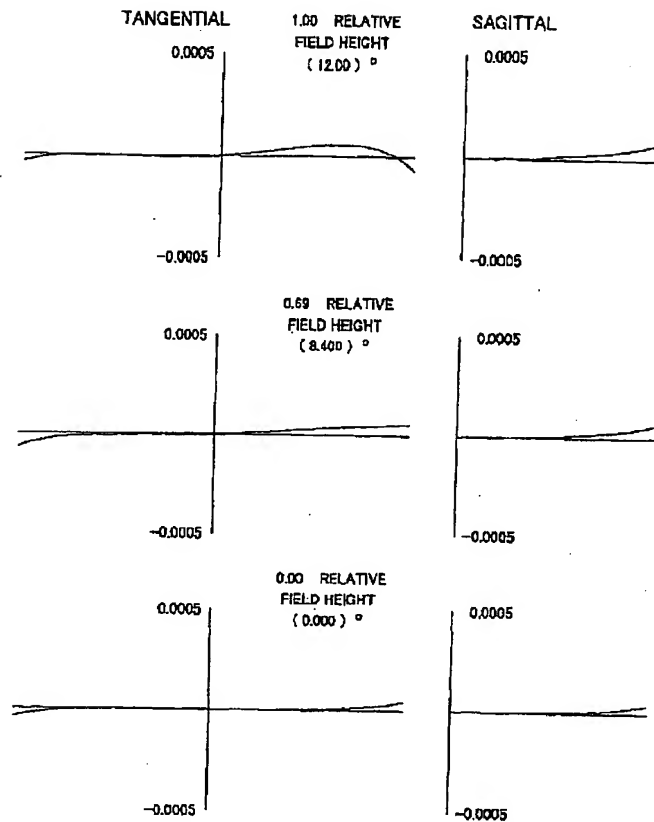


Fig.18



RAY ABERRATIONS (MILLIMETERS)

Fig.19

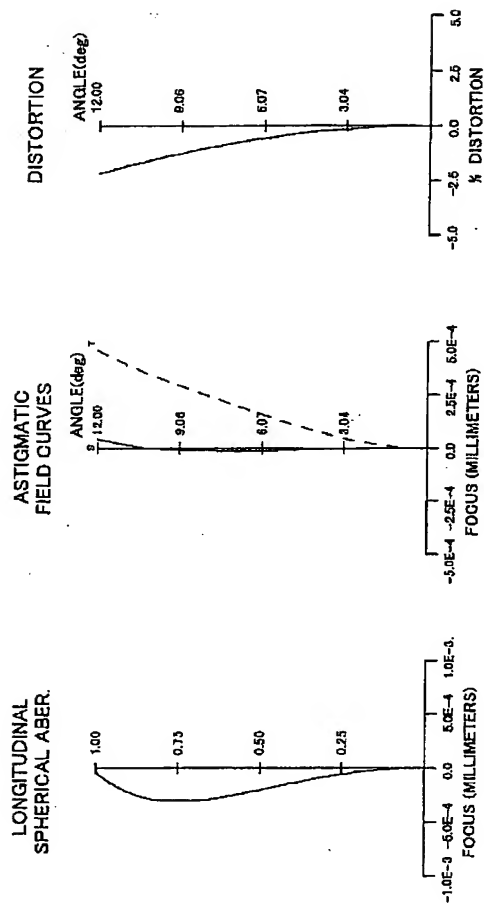
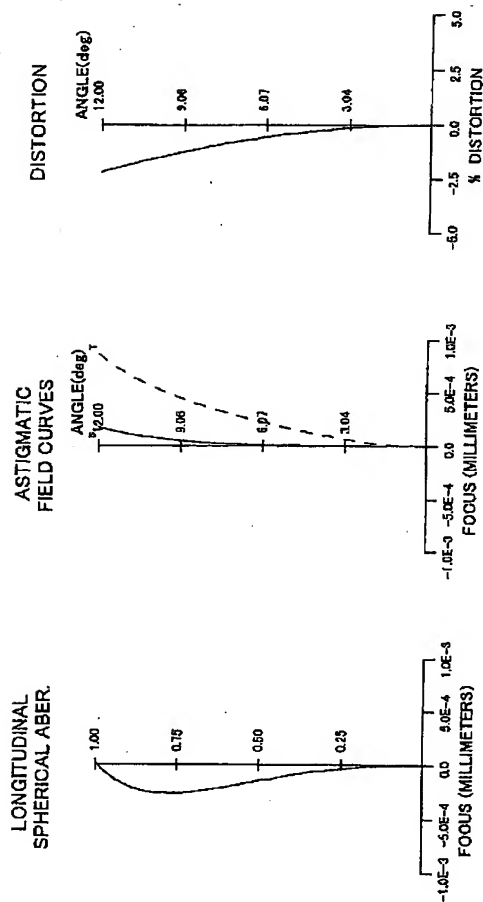


Figure 1 displays six plots of wavefront aberrations for a 100 mm diameter lens, arranged in a 3x2 grid. The columns are labeled 'TANGENTIAL' and 'SAGITTAL'. The rows correspond to different relative field heights: 1.00 (12.00 degrees), 0.68 (8.400 degrees), and 0.00 (0.000 degrees). Each plot has a vertical axis from -0.0005 to 0.0005. The wavefronts are shown as lines with small deviations from the zero line, indicating aberrations.

RAY ABERRATIONS (MILLIMETERS)

Fig.22



12-Sep-97

Fig.23

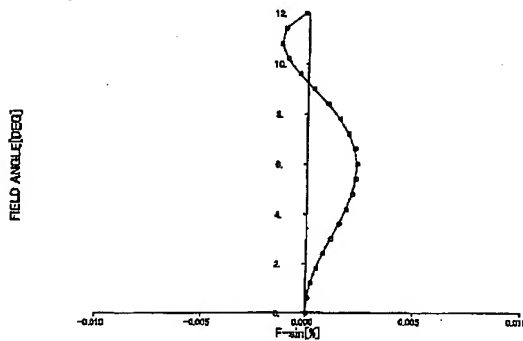
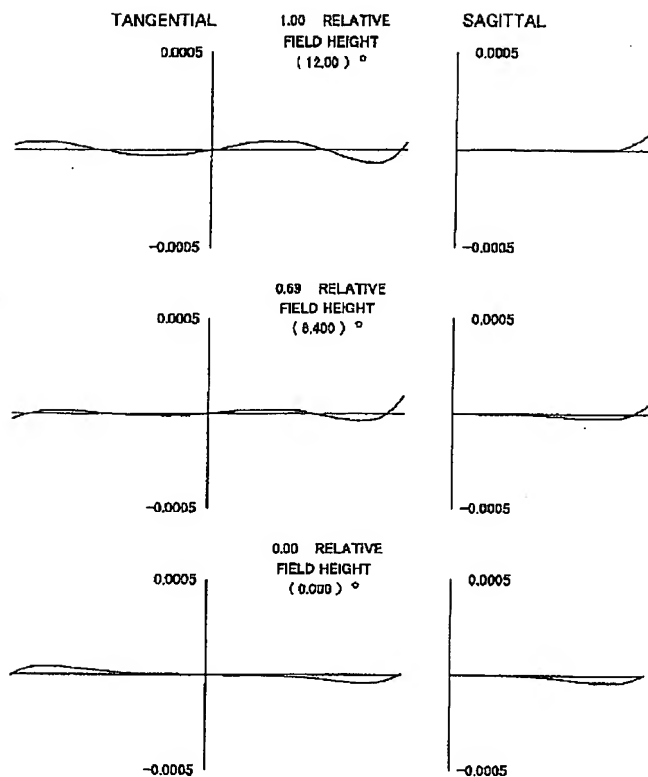


Fig.24



RAY ABERRATIONS (MILLIMETERS)